



EESTI MAAÜLIKOOL  
Metsandus- ja maaehitusinstituut

**Kevin Tsopp**

**RADIAALNE JUURDEKASV KESKEALISTES  
JUUREMÄDANIKU NAKKUSEGA KUUSIKUTES**

**RADIAL GROWTH OF MIDDLE-AGED NORWAY SPRUCE  
(*Picea abies* (L.) Karst.) STANDS INFECTED WITH ROOT ROT**

Bakalaureusetöö  
Metsanduse õppekava

Juhendajad: dotsent Rein Drenkhan, *PhD*  
teadur Sandra Metslaid, *PhD*

Tartu 2018

|  |               |                               |            |
|--|---------------|-------------------------------|------------|
| Eesti Maaülikool   |               | Bakalaureusetöö lühikokkuvõte |            |
| Kreutzwaldi 1, Tartu 51006   |               |                               |            |
| Autor: Kevin Tsopp   |               | Õppekava: metsandus           |            |
| Pealkiri: Radiaalne juurdekasv keskealistes juuremädaniku nakkusega kuusikutes   |               |                               |            |
| Lehekülgi: 43  | Jooniseid: 20 | Tabeleid: 3                   | Lisasid: 6 |
| Õppetool: Metsakasvatuse ja metsaökoloogia   |               |                               |            |
| ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood: Metsandusteadus, B430  |               |                               |            |
| Juhendaja(d): Rein Drenkhan, Sandra Metslaid   |               |                               |            |
| Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu, 2018  |               |                               |            |
| <p>Juuremädanikud on kuusikutes väga levinud ja on olulisimad majandusliku kahju tekitajad Põhja-Euroopa metsades. Kuna juurepessu tõttu väheneb oluliselt kvaliteetse puidu maht seepärast on väga tähtis, et me majandaksime kuusikuid õigesti. Käesolev uurimistöö on valminud RMK projekti „Kuusikute raieaja ja raieviiside mõju patogeenide levikule ja arvukusele ning puistu elurikkusele viljakates kasvukohatüüpides“ raames. Bakalaureusetöö eesmärgiks on analüüsida harvendatud ja harvendamata 41–60 aasta vanustes kuusikutes nakkusega ja tervete puude radiaalkasvu. Töös kasutati 2017. aastal kogutud, 240 juurdekasvuproovi kahekümnelt alalt, millest mõõdeti 222 proovi. Kogutud juurdekasvuproove mõõdeti Eesti Maaülikooli puiduteaduste laboris ning andmeanalüüs viidi läbi programmis <i>MS Excel</i>.</p> <p>Võetud 240 juurdekasvuproovist oli kahjustatud (esmanakkusega tumenenud ja mädanikuga) proove 80 (33,3%). Analüüsides juurdekasvuseeriaid leiti, et harvendatud puistutes on radiaalnejuurdekasv mädanikuga puudel statistiliselt oluliselt väiksem kui tervetel puudel. Harvendatud puistutes kasvas mädanikuga puude aastarõngaste pindala viimase 10 kasvuaasta jooksul 29% võrra vähem võrreldes tervete puudega. Harvendamata puistus viimase 10 kasvuaasta jooksul mädanikuga puude aastarõngaste pindala juurdekasv oli keskmiselt 39% väiksem võrreldes tervete puudega. Puude diameetrite võrdlemisel selgus, et puu diameetri järgi pole võimalik eristada haigeid puid tervetest puudest, sest need ei olnud üksteisest statistiliselt oluliselt erinevad. Analüüsitud kuusikutes leiti, et harvendamine ei ole otsene põhjus kahjustuse tekkimisele, sest harvendatud alade (n = 15 ala) kahjustuse osakaal oli 31% ja harvendamata alade (n = 5 ala) kahjustuse osakaal oli 40%.</p> |               |                               |            |
| Märksõnad: juuremädanik, radiaalkasv, harilik kuusk, dendrokronoloogia, aastarõnga pindala juurdekasv  |               |                               |            |

|   |             |                               |               |
|---|-------------|-------------------------------|---------------|
| Estonian University of Life Sciences<br>Kreutzwaldi 1, Tartu 51006  |             | Abstract of Bachelor's Thesis |               |
| Author: Kevin Tsopp   |             | Speciality: forestry          |               |
| Title: Radial growth of middle-aged Norway spruce ( <i>Picea abies</i> (L.) Karst.) stands infected with root rot   |             |                               |               |
| Pages: 43   | Figures: 20 | Tables: 3                     | Appendixes: 6 |
| Chair: Silviculture and Forest Ecology<br>Field of research and (CERC) code: Forest Sciences, B430<br>Supervisors: Rein Drenkhan, Sandra Metslaid<br>Place and date: Tartu, 2018  |             |                               |               |
| <p>Root rot is very common pathogen, damaging Norway spruce stands and causing a great economic loss in Northern-Europe conifer forests. Because of decay in the tree trunk, the volumes of the quality timber can be considerably reduced, thus it is crucial to manage Norway spruce stands in an appropriate way. This research study is supported by the RMK project „The impact of different cutting time and practices to pathogens distribution and biodiversity in spruce stands on fertile site types “. The aim of this bachelor work is to analyse and to compare the radial growth of healthy and infected by root rot Norway spruce trees, growing in mature thinned and not thinned stands. For this study, 240 tree increment cores from 20 sampling sites were collected in 2017. Tree-ring widths for 222 samples were measured, in the laboratory of wood sciences at the Estonian University of Life Sciences. The data analysis was carried out using MS Excel program. From the 240 increment samples 80 (33,3%) were damaged (discoloured and had rot signs). Analysis of radial increment series showed that in thinned stands radial growth of spruce trees with rot was statistically significantly smaller than for healthy trees. In thinned stands, during the last ten-year growth period spruce trees with rot had in average 29% lower annual ring-area increment compared to healthy trees. Whereas, in unthinned stands, annual ring-area increment over the last ten-year growth period was in average 39 % lower than in healthy trees. Comparison of tree diameters revealed, that it is not possible to distinguish root rot infected trees from healthy trees, because diameters are not statistically significantly different from each other. Based on the analysed spruce stands, it was found that thinning is not a direct cause for root rot damage, since proportion of damaged trees in studied stands was in average 31% and 40%, for thinned and unthinned sites, respectively.</p> |             |                               |               |
| Keywords: Root rot; butt rot, radial growth, Norway spruce, dendrochronology, ring-area increment   |             |                               |               |

# SISUKORD

|   |    |
|---|----|
| <b>SISSEJUHATUS</b> .....   | 5  |
| <b>1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE</b> .....   | 7  |
| 1.1. Kuusikutest Eestis.....  | 7  |
| 1.2. Juurepessu üldiseloostus.....  | 7  |
| <b>2. METOODIKA</b> .....   | 9  |
| 2.1. Proovialad.....  | 9  |
| 2.2. Välitööd.....  | 10 |
| 2.3. Laboritööd.....  | 11 |
| 2.4. Statistilised meetodid.....  | 11 |
| <b>3. TULEMUSED</b> .....   | 13 |
| 3.1. Üldtulemused.....  | 13 |
| 3.2. Aastarõnga pindala juurdekasv .....  | 16 |
| 3.3. Harvendatud ja harvendamata kuusikute 10 aasta keskmine aastarõnga<br>pindala aastane juurdekasv ..... | 20 |
| 3.4. Ühtlustatud 20 aastane periood kumulatiivsete juurdekasvude võrdlemiseks ..                            | 23 |
| 3.5. Kahjustuse sõltuvus puu diameetrist .....  | 25 |
| 3.6. Harvendamise ja kahjustuste vaheline seos .....  | 26 |
| 3.7. Harvendamise mõju puudele .....  | 27 |
| <b>4. ARUTELU</b> .....   | 30 |
| <b>KOKKUVÕTE</b> .....  | 33 |
| <b>KASUTATUD KIRJANDUS</b> .....  | 34 |
| <b>LISAD</b> .....  | 36 |

## SISSEJUHATUS

Harilik kuusk (*Picea abies* (L.) Karst.) kasvab Eestis looduslikult ning on hariliku männi (*Pinus sylvestris* L.) ja perekond kase (*Betula* sp.) järel kogutagavaralt teine puuliik meie metsades (Aastaraamat mets 2016). Arvestades kuusepuistute olulisust meie metsades on väga tähtis, et me majandaksime oma kuusikuid õigesti.

Juure- ja tüükamädanikud on okaspuudel väga levinud ja nad põhjustavad metsanduses probleeme kogu põhjapoolkeral (Žemaitis, Stakėnas 2016). Põhja-Euroopa kõige suuremaks hariliku kuuse kahjustajaks on kuuse-juurepess (*Heterobasidion parviporum*; Hanso, Hanso 1999). Juurepessu tõttu väheneb oluliselt kvaliteetse puidu maht, mis on arvestades Eesti riigi puidutööstuse osatähtsust meie majanduses väga oluline kaotus (Hanso, Drenkhan 2005). Juuremädanikuga on nakatunud hinnanguliselt 16,8% kuusepuistutest Eestis (Allikmäe *et al.* 2017). Juurepessu nakkusest tulenev majanduslik kahju Euroopas ulatub kuni 800 miljoni euronni aastas (Asiegbu *et al.* 2005). Kuna ENSV ajal puudus põhjalik teadmine juurepessust siis toonased metsakasvatuse võtted nagu näiteks põllumaade metsastamine kuusega on üheks algpõhjuseks kuusikute kehvale tervislikule seisule täna (Keskkonnaministeerium selgitab... 2017). Kuna harvendusraiate käigus saavad kahjustada ka terved puud ning tekitatakse kännud kuhu levivad juurepessu eosed (Eramets 2018), seetõttu on oluline uurida, kas ja kui palju mõjutavad harvendusraied puistu juuremädanikku nakatumist. Lisaks sellele on kännud pikka aega juurepessu nakkustsentrid (Hanso, Hanso 1999).

Käesoleva bakalaureusetöö olulisemaks eesmärgiks on leida, kui palju mõjutab juurepess (mädaniku tunnused proovidel on hinnatud visuaalselt ning suurimaks juuremädaniku tekitajaks on juurepess) hariliku kuuse radiaalset juurdekasvu puude vanuses 41–60 aastat. Kitsamateks ülesanneteks on leida, (1) kui palju hooldusraied mõjutavad kahjustuse osakaalu, (2) kas ja kui palju kahjustusega puude radiaalne juurdekasv on erinev võrreldes tervete puude juurdekasvuga ja, (3) kui palju erineb hariliku kuuse diameeter tervel puul võrrelduna haigega.

Aastarõngaste uurimiseks antud töös kasutati dendrokronoloogilisi meetodeid. Dendrokronoloogia on teadus, mis uurib puude aastarõngaid, et saada teada keskkonna muutusi ja inimtegevuse mõju (Speer 2010).

Käesolev uurimistöö on valminud RMK projekti „Kuusikute raieaja ja raieviiside mõju patogeenide levikule ja arvukusele ning puistu elurikkusele viljakates kasvukohatüüpides“ raames. Töö autor soovib tänada oma juhendajaid dotsent Rein Drenkhan’it ja teadur Sandra Metslaid’i toetuse, kasulike nõuannete ja asjatundliku juhendamise eest.

# 1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

## 1.1. Kuusikutest Eestis

Eestis on metsamaad 2,31 miljonit ha, millest on metsaga kaetud 2,14 miljonit ha ning kogutagavara on 476 miljonit m<sup>3</sup>. Kuusikuid on 428,4 tuhat ha, mis moodustavad metsamaa pindalast 18,5 %, kuusikute kogutagavara on 91,9 miljonit m<sup>3</sup> ja keskmine hektaritagavara on 215 m<sup>3</sup>/ha. Kuusikute keskmine vanus Eestis, 2016. aasta seisuga on 56 aastat. 41 % Eesti kuusikutest kuulub boniteediklassi I ja 35 % kuusikutest Ia boniteediklassi (Aastaraamat mets 2016). Harilik kuusk on ainus looduslik kuuseliik Eestis.

## 1.2. Juurepessu üldiseloostus

Peamiselt tuntakse Põhja-Euroopas kahte juurepessu liiki: kuuse-juurepess (*Heterobasidion pavidorum*) ja männi-juurepess (*Heterobasidion annosum*). Juurepessud on mitmeaastased liibuvad, poolliibuvad, kübarjad, kõvad, varieeruva viljakeha suurusega seemed. Hümenofoor on kollakas-valge ning pooride tihedus on suurem kuuse-juurepessul võrreldes männi-juurepessuga. Tekitab männil juurte, kuusel juurte ja tüve valgemädanikku. Juurepess on Eestis kuusel tavaline, männil esineb vähem ning on kuusele kõige ohtlikum patogeen Eestis (Niemelä 2008).

Juurepess on okaspuu puistute ohtlikum haigusetekiataja, kes tapab, mädandab ja pidurdab puude kasvu. Meie riigi majanduslikus situatsioonis teeb laialdaselt levinud juurepess rahaliselt suurt kahju vähendades tublisti juurdekasvu (Hanso, Drenkhan 2005). Eestis esineb kahte liiki juurepessu, nimed viitavad peremeestaimele kuid juurepessud võivad kahjustada ka teisi liike, männi-juurepess võib kahjustada kadakat, kuuske ning mitmeid lehtpuuliike, kuuse-juurepess aga nulgu, lehist ning noori männitaimi. Juurepess tekitab juure- ja tüvemädaniku mille tõttu võib metsaomanik kaotada kuni 30% puidumüügi tulust (Õunap, Hanso 2016). Kuuskedel arenev juurepess on kaua ilma väliste tunnusteta ning mädanik võib tõusta tüves kuni 12 m kõrgusele. Pinnapealse juurestiku tõttu muutuvad kuused vastuvõtlikuks tuuleheitele (Drenkhan 2011). Juurepessu esmanakkus levib õhu kaudu eoste abil, mis nakatavad eelkõige värskeid kande, hiljem levib ka juurte vaheliste

kontaktide kaudu lähedal asuvatele tervetele puudele. Peaks vältima suvist raiet, sest siis on nakkuse oht kõige suurem (Hanso, Drenkhan 2005). Juurepessu levik on intensiivsem tihedates puhtpuistutes (Hanso, Hanso 1999). Juurepessu nakkusega kännud kannavad haigust edasi aastakümneid (Õunap, Hanso 2016). Kõige suuremad juurepessu kahjustused esinevad intensiivselt majandatavates metsades, kus ka looduslikud tegurid levikuks on soodsad. Kõige kiiremini levib haigusetekiata mütseel temperatuurivahemikus 22–28°C. Eestis võib keskmine mullatemperatuur tõusta optimaalsele tasemele suvekuudel raiesmikel ja pindmises mullakihi. Juurepess esineb sageli kuivades kasvukohatüüpides, kahjustuse osakaal suureneb ka koos lubjasisalduse, poorsuse ja aeratsioonitaseme suurenemisega (Hanso, Hanso 1999). Juurepessu oht on väike liigniisketel aladel, turbapinnasel ja kuivades toitainetevaestes kasvukohtades (Õunap, Hanso 2016).

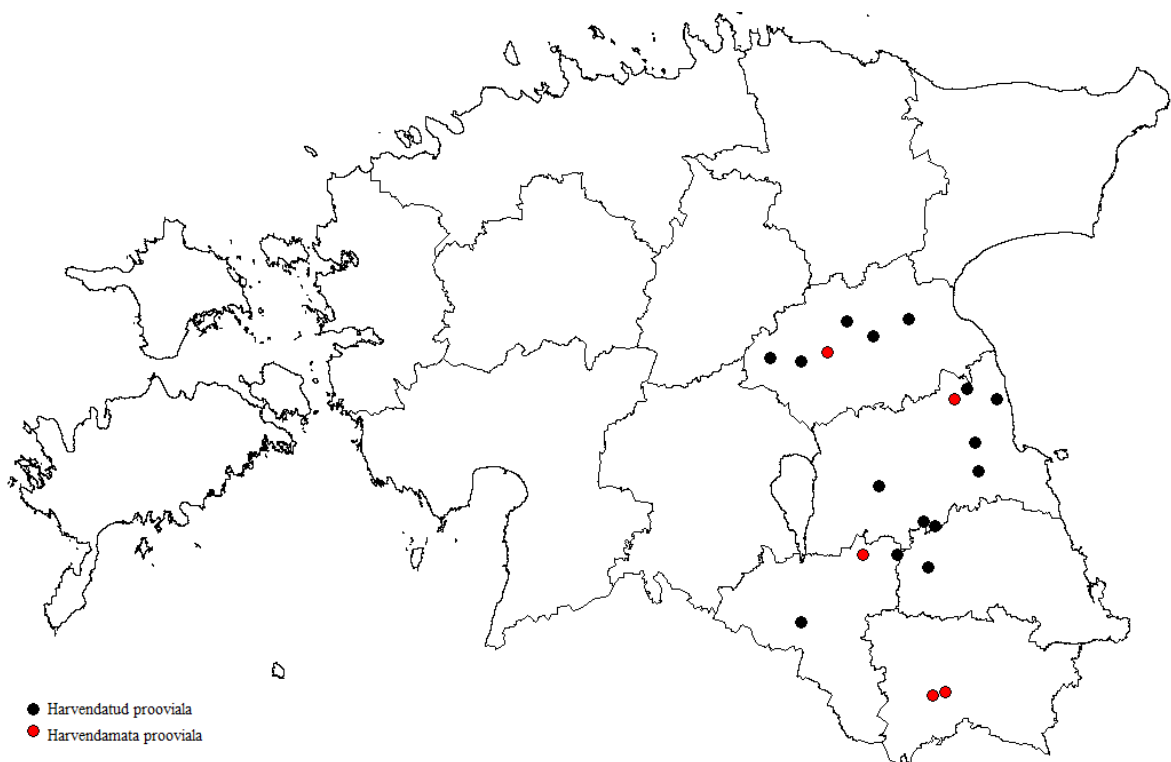
Puistu kaitsmise võimalused juurepessu eest on järgmised: viljakehade korjamine, kändude väljajuurimine, suviste raiete vältimine ja kändude raiejärgne töötlemine (keemilise või biopreparaadiga). Viljakehade korjamine ja kändude juurimine pole tänapäeval enam väga mõeldavad tegevused kuna mõlemad võtted on väga töömahukad ning kändude juurimine vajab rohkem analüüsi (Õunap, Hanso 2016). Kõige tõhusam looduslik vahend juurepessuga võitlemisel on ROTSTOP®. ROTSTOP® on biopreparaat, mis sisaldab hiidkooriku eoseid. Eosed hakkavad kännul kasvama kohe peale kännule pritsimist, misjärel see seen takistab juurepessu levikut. Kände tuleks pritsida koheselt või kuni üks nädal peale raiet, õige aeg biopreparaadi kasutamiseks on kui ööpäevane temperatuur tõuseb üle +5°C. (Drenkhan 2011). ROTSTOP® ei pea kasutama talviste raiete järel ja puistutes, kus kändude läbimõõt on alla 10cm, niisketel aladel ja lehtpuu-enamusega puistutes. ROTSTOP® eeliseks võrreldes keemilise preparaadiga on see, et biopreparaat takistab juurepessu levimist maa all juurtes, kuid keemiline preparaas mitte (Õunap, Hanso 2016).



## 2. METOODIKA

### 2.1. Proovialad

Bakalaureusetöö uurimisalad asusid Jõgeva, Tartu, Põlva, Valga ja Võru maakondades, kus juurdekasvu proovid olid võetud nii harvendatud kui ka harvendamata kuusepuistutest. Alade esmavalik tehti andmebaasi järgi viljakates kasvukohatüüpides, milleks olid sinilille ja jänesekapsa, kus kuuse osakaal puistus oli vähemalt 50% ja enam ning puistute vanusevahemik oli 41–60. Alad valiti juhuslikult ning neid oli kokku 20, millest 15 olid harvendusraiega alad ja 5 ala, kus raiet teostatud ei ole. Välja valitud aladele rajati 0,25 ha suurused proovitükid, kus andmed koguti 12 juhuslikult puult, et erinevad diameetriklassid oleksid esindatud ning iga puu vahekaugus oli vähemalt viis meetrit. Proovialade paiknemine on näidatud joonisel 1.



**Joonis 1.** Proovialade asukohad.

## 2.2. Välitööd

Töös kasutati Rein Drenkhani uurimisrühma poolt aastal 2017 võetud juurdekasvuproove. Kahekümnelt alalt võeti proove kokku 240 tükki ja eranditult ainult kuuskedelt. Et kontrollida juurepessu nakkuse mõju puude juurdekasvule, ühelt alalt võeti kokku 12 proovi. Puid puuriti juurekaelalt ehk ca 20–30 cm kõrguselt maapinnalt kasutades 5,15 mm läbimõõdu juurdekasvupuuri. Kasutatavad vahendid steriliseeriti peale iga proovi võtmist 96%-lises piirituses ja gaaslambi leegis, et vältida ristsaaste tekkimist. Veel mõõdeti proovivõtu kohalt 20-30 cm kõrguselt, puude ümbermõõt ja saadud tulemused kanti välitööde lehele, samuti hinnati puistu koosseis ja kontrolliti alade kasvukohatüüp, vajadusel hinnati ka mulda ja taimestiku. Proovid pandi tähistatud joogikõrte ning säilitati laboris - 20°C külmas. Metsaeraldiste üldandmed on võetud metsaregistrist ja esitatud tabelis 1.

**Tabel 1.** Proovialade puistu takseerandmed (Metsaregister 2018)

| Jrk | Prooviala kood | Maakond   | Kvartal | Eraldis | KKT* | Keskmine vanus (a) | Keskmine diameeter (cm) ** | Rinnaspindala (m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> )*** |
|-----|----------------|-----------|---------|---------|------|--------------------|----------------------------|---|
| 1   | LA161_22       | Jõgevamaa | LA161   | 22      | SL   | 58                 | 39,0                       | 22  |
| 2   | LA182_02       | Jõgevamaa | LA182   | 2       | JK   | 54                 | 28,8                       | 30,5  |
| 3   | PM176_13       | Jõgevamaa | PM176   | 13      | JK   | 56                 | 30,7                       | 41  |
| 4   | PM191_19       | Jõgevamaa | PM191   | 19      | SL   | 41                 | 22,1                       | 33,5  |
| 5   | PM245_15       | Jõgevamaa | PM245   | 15      | SL   | 59                 | 25,7                       | 54,5  |
| 6   | VZ211_07       | Jõgevamaa | VZ211   | 7       | SL   | 48                 | 29,8                       | 34,5  |
| 7   | SV080_05       | Põlvamaa  | SV080   | 5       | JK   | 42                 | 27,3                       | 35,5  |
| 8   | AK092_05       | Tartumaa  | AK092   | 5       | JK   | 51                 | 30,3                       | 43  |
| 9   | KM051_11       | Tartumaa  | KM051   | 11      | JK   | 50                 | 21,9                       | 27,5  |
| 10  | KM075_07       | Tartumaa  | KM075   | 7       | JK   | 51                 | 27,9                       | 27,5  |
| 11  | KS030_26       | Tartumaa  | KS030   | 26      | JK   | 56                 | 27,0                       | 33,5  |
| 12  | PE018_10       | Tartumaa  | PE018   | 10      | JK   | 43                 | 27,6                       | 30,5  |
| 13  | QT078_04       | Tartumaa  | QT078   | 4       | JK   | 43                 | 29,8                       | 27  |
| 14  | VA063_26       | Tartumaa  | VA063   | 26      | JK   | 46                 | 24,4                       | 30,5  |
| 15  | VA109_02       | Tartumaa  | VA109   | 2       | JK   | 58                 | 33,1                       | 56,5  |
| 16  | OP026_07       | Valgamaa  | OP026   | 7       | SL   | 44                 | 25,4                       | 36  |
| 17  | OP084_14       | Valgamaa  | OP084   | 14      | JK   | 50                 | 27,3                       | 32  |
| 18  | VL394_20       | Valgamaa  | VL394   | 20      | JK   | 54                 | 28,9                       | 39  |
| 19  | RG098_17       | Võrumaa   | RG098   | 17      | JK   | 52                 | 24,9                       | 27  |
| 20  | RG120_08       | Võrumaa   | RG120   | 8       | JK   | 57                 | 25,8                       | 40  |

\* KKT - metsakasvukohatüüp

\*\* Keskmine diameeter on mõõdetud Rein Drenkhani uurimisrühma poolt.

\*\*\* Rinnaspindala on mõõdetud Rein Drenkhani uurimisrühma poolt.

## 2.3. Laboritööd

Kogutud hariliku kuuse puursüdamikud valmistati ette Eesti Maaülikooli puiduteaduste laboris, kus kasutati spetsiaalset proovide ettevalmistamiseks mõeldud mikrotoomi (*core mictotome*) puursüdamike analüüsiks (lisa 1a). Mikrotoomi proovihoidja külge kinnitati puursüdamik, mida sai kruviga liigutada (lisa 1b). Mikrotoomi külge kinnitati terad, mis õhukeste laastudena eraldasid, teraga puursüdamikust üle liikudes, proovilt puitu (Gärtner, Nievergelt 2010). Enne proovide ettevalmistamist niisutati proovid, et neid oleks parem lõigata. Enne mõõtma asumist kasutati proovidel kriiti, see tõi aastarõngaste piirid selgemini esile ning muutis mõõtmise oluliselt lihtsamaks ja täpsemaks. Edasi mõõdeti ettevalmistatud juurdekasvu proovidel aastarõngaste laiused, aastarõnga vara- ja hilispuidu laiused mõõdeti eraldi (töös ei kasutatud mõõdetud vara- ja hilispuidu andmeid; lisa 2). Aastarõngaste laiuste mõõtmiseks kasutati mõõtmislauda LINTAB<sup>TM</sup> 5 (lisa 3) mille juurde kuulus veel stereomikroskoop, arvuti ja programm TSAPWin<sup>TM</sup>, mille mõõtmistäpsus on 1/100 mm (RINNTECH 2018). Kokku mõõdeti 240 proovist 222. Peamiseks põhjuseks miks kõiki puursüdamike ei mõõdetud oli järgmine: 1. mädaniku poolt tugevalt kahjustatud ja purunenud puursüdamikud või 2. proovi võtmise käigus lagunenenud proovid (lisa 4).

## 2.4. Statistilised meetodid

Ettevalmistatud proovide aastarõngaste laiused ristdateeriti visuaalselt kasutades TSAPWin<sup>TM</sup> programmi. Pärast kõikide proovide mõõtmist kasutati programmi COFECHA, et viia läbi statistiline ristdateerimine. COFECHA aitab hinnata mõõtmistulemuste täpsust ning pakub välja lahendusi vigade eemaldamiseks (Holmes 1983; Grissino-Mayer 2001). Ristdateerimine on protseduur mille abil määratakse kindlaks aastarõnga moodustamine aastarõngaridade kõrvutamise teel (Läänelaid 1976). Pärast ristdateerimist ja andmete korrastamist viidi andmed *Microsoft Excelisse*, et teha andmetega vajalikud arvutused. Kõigepealt grupeeriti juurdekasvuproovid seisukorra ja raiete järgi kuute erinevasse rühma, esiteks harvendamata puistutes: mädanikuga, tumenemisega ja terved puud ning teiseks harvendatud puistutes: mädanikuga, tumenemisega ja terved puud. Juurdekasvuproovide grupeerimine toimus visuaalse hindamise teel proovide seisukorra järgi, kõik proovid, kus oli näha värvimuutust pandi tumenemise gruppi ja proovid, kus oli näha mädanikku (proovi

puit pehme, pude, purunenud) pandi mädaniku gruppi. Saadud gruppe võrreldi omavahel, et tuvastada juurdekasvu erinevust.

Erinevuste leidmiseks arvutati RAI (*ring-area increment*) ehk aastarõnga pindala juurdekasv ja summeeritud RAI (*cumulative ring-area increment*) ehk kumulatiivne aastarõnga pindala. RAI arvutati valemiga:

$$RAI_t = \pi(R_t^2 - R_{t-1}^2)$$

kus  $R_t$  on puutüve raadius valitud aastarõnga lõpus,  $R_{t-1}$  on puutüve raadius eelmise aastarõnga lõpus ja  $t$  on aastarõnga moodustumise aasta (Biondi, Qeadan 2008).

Kahjustuse osakaalu arvutamisel ja diameetri erinevuste analüüsis kasutati kahekümnelt alalt võetud 12 juurdekasvuproovi/puude andmeid (kokku 240 proovi andmed). Juurdekasvuseeriade võrdlemisel kasutati ainult mõõdetud 222 juurdekasvu proovi. Antud töö analüüsis kasutati täispikkuses juurdekasvuseeriaid ja ühtlustatud pikkusega juurdekasvuseeriaid (10 ja 20 aastat). Täispikkuses juurdekasvuseeriates on kasutatud kõikide mõõdetud aastarõngaste andmeid, ühtlustatud juurdekasvuseeriates on kasutatud vastavalt perioodi pikkuse aastarõngaste andmeid, ehk antud töös pikkusega 10 ja 20 aastat.

Saadud tulemusi analüüsiti Excelis dispersioonanalüüsi funktsiooni (*Analysis of Variance, ANOVA*) abil leidmaks, kas gruppide vahel esineb statistilist olulist erinevust, ning Studenti t-testi (*Two-Sample Assuming Equal Variances*) abil leidmaks milliste gruppide vahel need erinevused on. Nii dispersioon funktsiooni kui ka Studenti t-testi puhul oli olulisuse nivooks 0,05 ehk proovid loeti statistiliselt oluliselt erinevaks, kui  $p \leq 0,05$  (Studenti t-testi puhul jagati  $p \leq 0,05$  võrreldavate gruppide arvuga) (Kiviste 1999). Tulemuste kirjeldamiseks loodi Excelis erinevaid võrdlevaid jooniseid: joondiagramm, tulpdiagramm ja karpdiagramm-meetodite abil.

### 3. TULEMUSED

#### 3.1. Üldtulemused

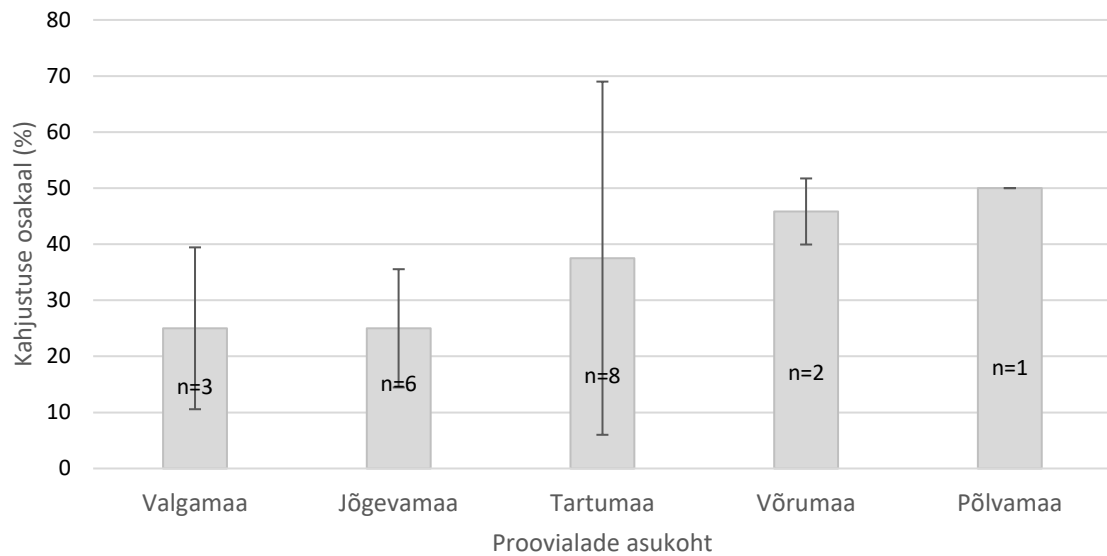
Bakalaureusetöös uuriti 240 puursüdamiku, millest õnnestus mõõta 222, 18 proovi jäi mõõtmata kuna need olid purunenud (lisa 4) või mädaniku poolt tugevalt kahjustatud, mis muutis aastarõngaste täpse lugemise väga keeruliseks. Võetud 240. proovist oli värvi muutusega ehk tumenemisega (lisa 5) 40 proovi ja tugevasti kahjustatud ehk mäda (lisa 6) 40 puursüdamiku. Mõõdetud 222 proovist olid need numbrid vastavalt 37 ja 40 proovi. Kahjustuste esinemine proovialadel on esitatud tabelis 2.

**Tabel 2.** Juurdekasvuproovide päritolu, kogus, mõõdetud kogus ja kahjustuse esinemine

| Prooviala kvartal ja eraldis | Proove kokku, tk | Proove mõõdetud, tk | Proove kahjustatud, tk | Kahjustuse osakaal, % |
|------------------------------|------------------|---------------------|------------------------|-----------------------|
| KM075_07                     | 12               | 12                  | 8                      | 66,7                  |
| KS030_26                     | 12               | 10                  | 8                      | 66,7                  |
| VA109_02                     | 12               | 11                  | 7                      | 58,3                  |
| PE018_10                     | 12               | 12                  | 7                      | 58,3                  |
| RG098_17                     | 12               | 12                  | 6                      | 50,0                  |
| SV080_05                     | 12               | 12                  | 6                      | 50,0                  |
| VA063_26                     | 12               | 11                  | 6                      | 50,0                  |
| RG120_08                     | 12               | 12                  | 5                      | 41,7                  |
| PM176_13                     | 12               | 12                  | 5                      | 41,7                  |
| VL394_20                     | 12               | 12                  | 5                      | 41,7                  |
| PM245_15                     | 12               | 10                  | 4                      | 33,3                  |
| PM191_19                     | 12               | 12                  | 3                      | 25,0                  |
| OP026_07                     | 12               | 11                  | 2                      | 16,7                  |
| VZ211_07                     | 12               | 11                  | 2                      | 16,7                  |
| LA182_02                     | 12               | 11                  | 2                      | 16,7                  |
| LA161_22                     | 12               | 11                  | 2                      | 16,7                  |
| OP084_14                     | 12               | 11                  | 2                      | 16,7                  |
| AK092_05                     | 12               | 11                  | 0                      | 0,0                   |
| QT078_04                     | 12               | 6                   | 0                      | 0,0                   |
| KM051_11                     | 12               | 12                  | 0                      | 0,0                   |
| Kokku/keskmine               | 240              | 222                 | 80                     | 33,3                  |

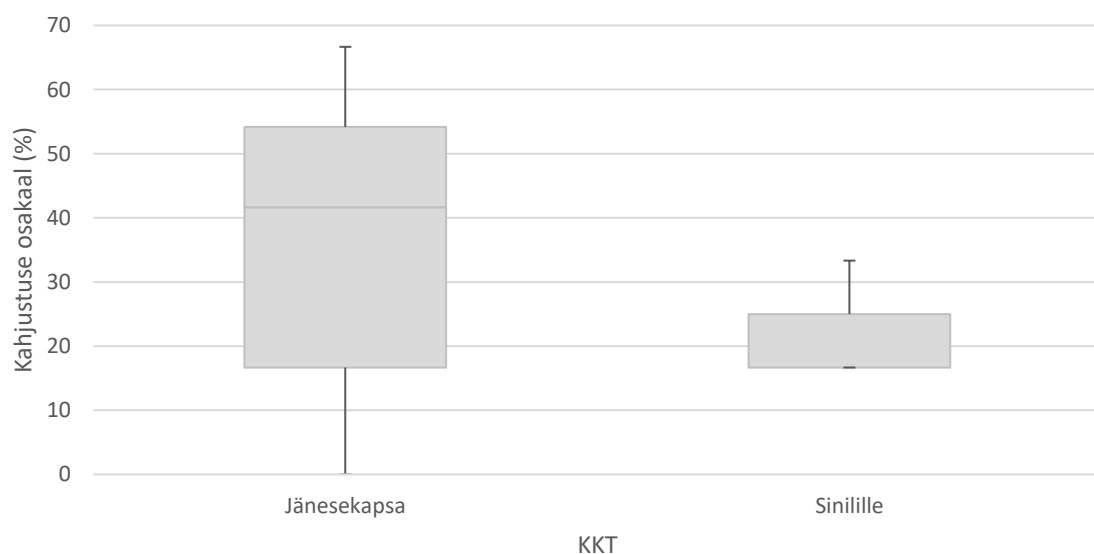
Kõige rohkem kahjustatud proove oli kahel Tartumaa proovialal, kus 12-st võetud proovist oli kahjustatud 8 puursüdamiku ehk 66,7%. Kõige vähem kahjustatud proove oli kolmel Tartumaa proovialal, kus kahjustusi ei esinenud. Keskmise kahjustuse osakaal 240 proovi kohta oli 33,3%, kusjuures 3 katsealal polnud ühtki nakkusega puud (s.o 28 proovipuud, vt.

Tabel 2). Järgnevalt on välja toodud keskmine kahjustuste esinemise osakaal ja proovialade arv maakondade kaupa (joonis 2).



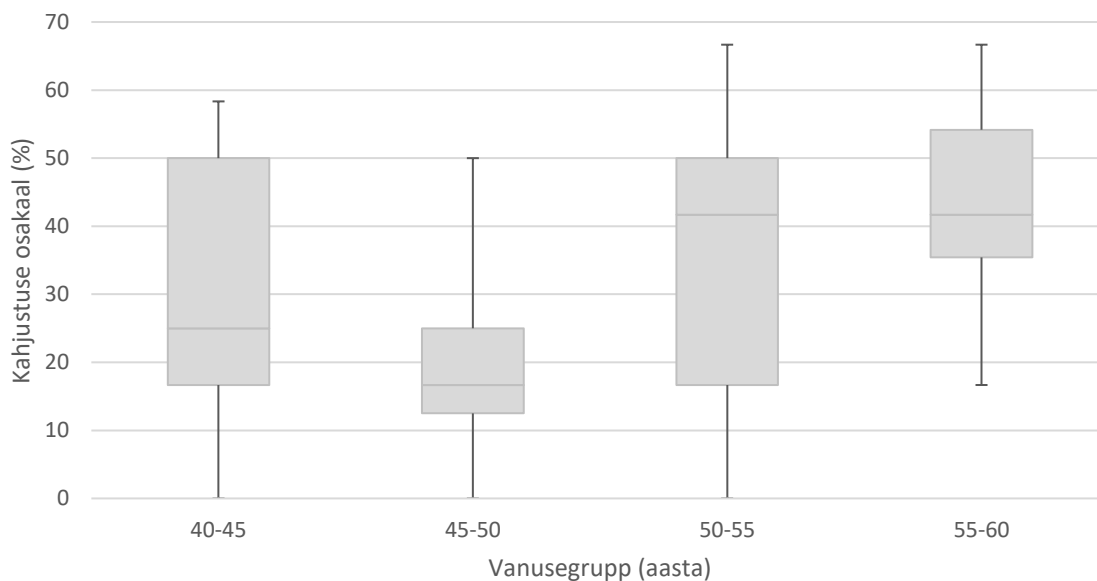
**Joonis 2.** Keskmine kahjustuse osakaal (%) maakondade kaupa; n-proovialade arv.

Proovialad asusid jänesekapsa ja sinilille kasvukohatüüpides. Jänesekapsa kasvukohatüübis asus 15 ala ja sinilille kasvukohatüübis 5 ala, kus keskmine kahjustuse osakaal oli vastavalt, 37,2% ja 21,7% (joonis 3). Jänesekapsa kasvukohatüübis oli kõige suurem kahjustuse osakaal kahel alal 66,7 % ja kolmel alal kahjustusi ei esinenud. Sinilille kasvukohatüübis oli kõige suurem kahjustuse osakaal 33,3% ja kõige väiksem 16,7%. Puude kahjustused kasvukohatüüpide vahel pole statistiliselt oluliselt erinevad ( $p>0,05$ ).



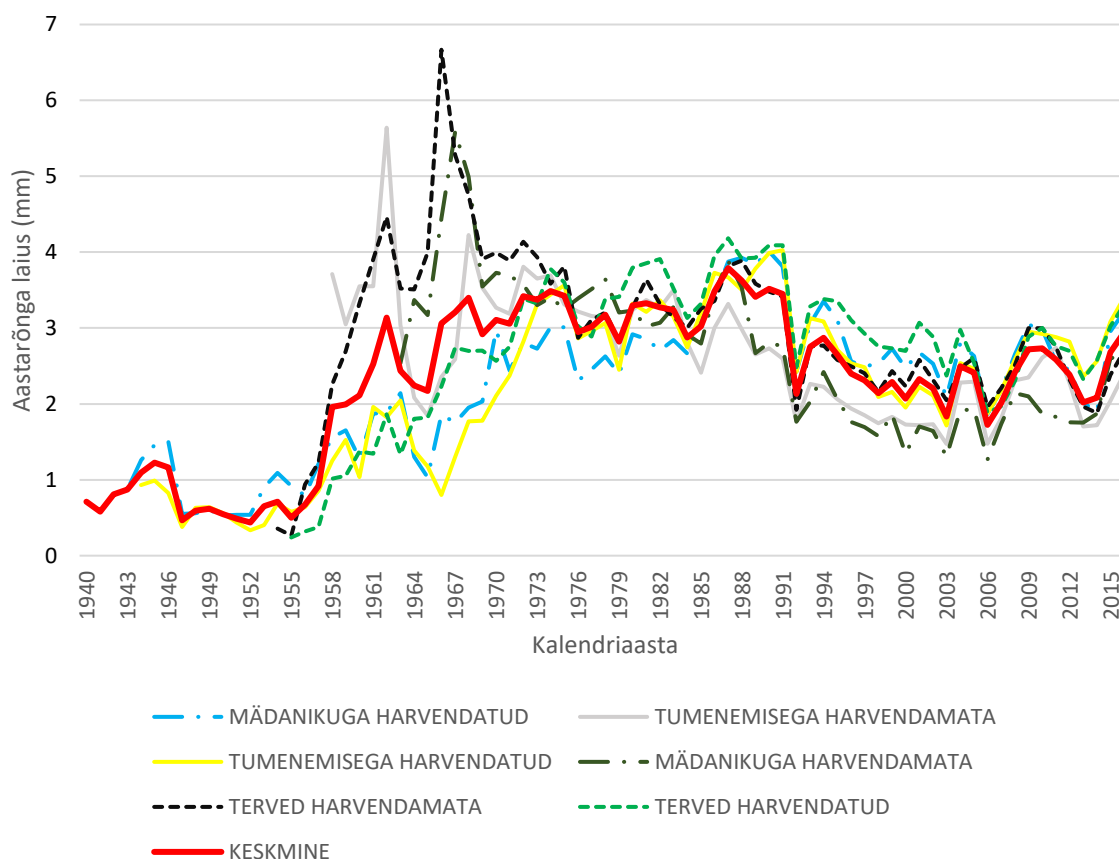
**Joonis 3.** Kahjustuse osakaal kasvukohatüübi (KKT) järgi.

Vanuse järgi jagati puud nelja gruppi, 40–45, 45–50, 50–55 ja 55–60 aastat. Vanusegrupis 40–45 ja 50–55 oli mõlemas 5 ala, 4 ala vanuses 45–50 ja 55–60 oli 6 ala. Harvendamata alad jagunesid gruppide vahel järgmiselt, 40–45 üks ala, 50–55 üks ala ja 55–60 kolm ala. Kõige suurem keskmine kahjustuse osakaal oli vanusegrupis 55–60, kus kahjustatud puud oli 43,1 % ja kõige vähem kahjustatud puud oli vanusegrupis 45–50, kus keskmine kahjustuse osakaal oli 20,8 % (joonis 4). Puude kahjustused vanusegruppide vahel pole statistiliselt oluliselt erinevad ( $p > 0,05$ ).



**Joonis 4.** Kahjustuste osakaal vanusegruppide järgi.

Mõõdetud 222 proovi jagati raiete ja kahjustuste järgi kuute erinevasse gruppi ning arvutati igale grupile aastate kaupa keskmised aastarõngaste laiuste (mm) väärtused. Gruppide vahel jagunesid puud järgmiselt: mädanikuga 10 (4,5% kogu puude arvust) puud harvendamata aladelt, mädanikuga 28 (12,6%) puud harvendatud aladelt, terved 32 (14,4%) puud harvendamata aladelt, terved 112 (50,5%) puud harvendatud aladelt, tumenemisega 15 (6,8%) puud harvendamata aladelt ja tumenemisega 25 (11,3%) puud harvendatud aladelt. Kõige rohkem kasvas keskmiselt aastarõnga laius aastast grupil terved puud harvendamata aladelt 2,98 mm ning kõige vähem grupil mädanikuga puud harvendatud aladelt 2,18mm, antud tulemused on statistiliselt oluliselt erinevad ( $p < 0,001$ ). Üleüldine keskmine aastarõnga laius oli 2,28 mm. Aastased keskmised aastarõngaste juurdekasvud on esitatud joonisel 5.



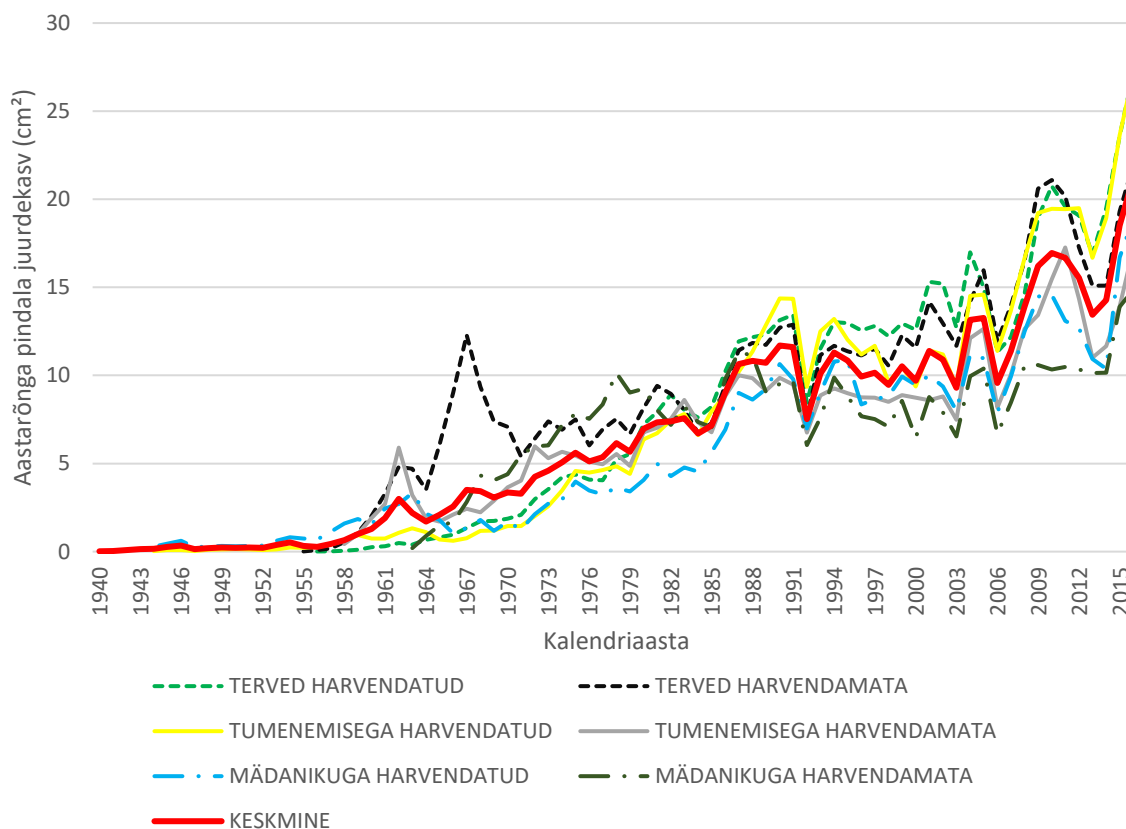
**Joonis 5.** Keskmised aastarõngaste laiused (mm) kalendriaastate järgi harvendatud ja harvendamata kuusikutes.

### 3.2. Aastarõnga pindala juurdekasv

Töös arvutati puude aastarõnga pindala juurdekasv RAI (*ring-area increment*,  $\text{cm}^2$ ) ja summeeritud aastarõngaste pindala juurdekasv, et leida, kas tervete ja kahjustatud puude aastarõnga pindala juurdekasvud on statistiliselt oluliselt erinevad. Kõigepealt arvutati mädanikuga, tumenemisega ja tervete puude harvendatud ja harvendamata gruppide aastarõnga pindala juurdekasvude keskmised. Kõige suurem keskmine aastarõnga pindala juurdekasv oli grupil terved harvendamata, kus keskmiselt kasvas aasta jooksul aastarõnga pindala  $9,87 \text{ cm}^2$ . Kõige vähem kasvas aastarõnga pindala mädanikuga harvendatud grupis, kus keskmine oli  $5,40 \text{ cm}^2$ . Kõikide gruppide keskmine aastarõnga pindala juurdekasv oli  $7,74 \text{ cm}^2$ . Kõige suurem keskmine aastarõnga pindala juurdekasv toimus 2016. aastal terved harvendatud puude grupis, kus aastaga kasvas keskmine aastarõnga pindala  $27,18 \text{ cm}^2$ . Joonisel 6 on näha, et aastatel 1992, 2006 ja 2013 on toimunud järsk juurdekasvu langus, see võib olla tingitud puule halva ilmastikuga aastatest. Aastatel 1964-1967 on terved

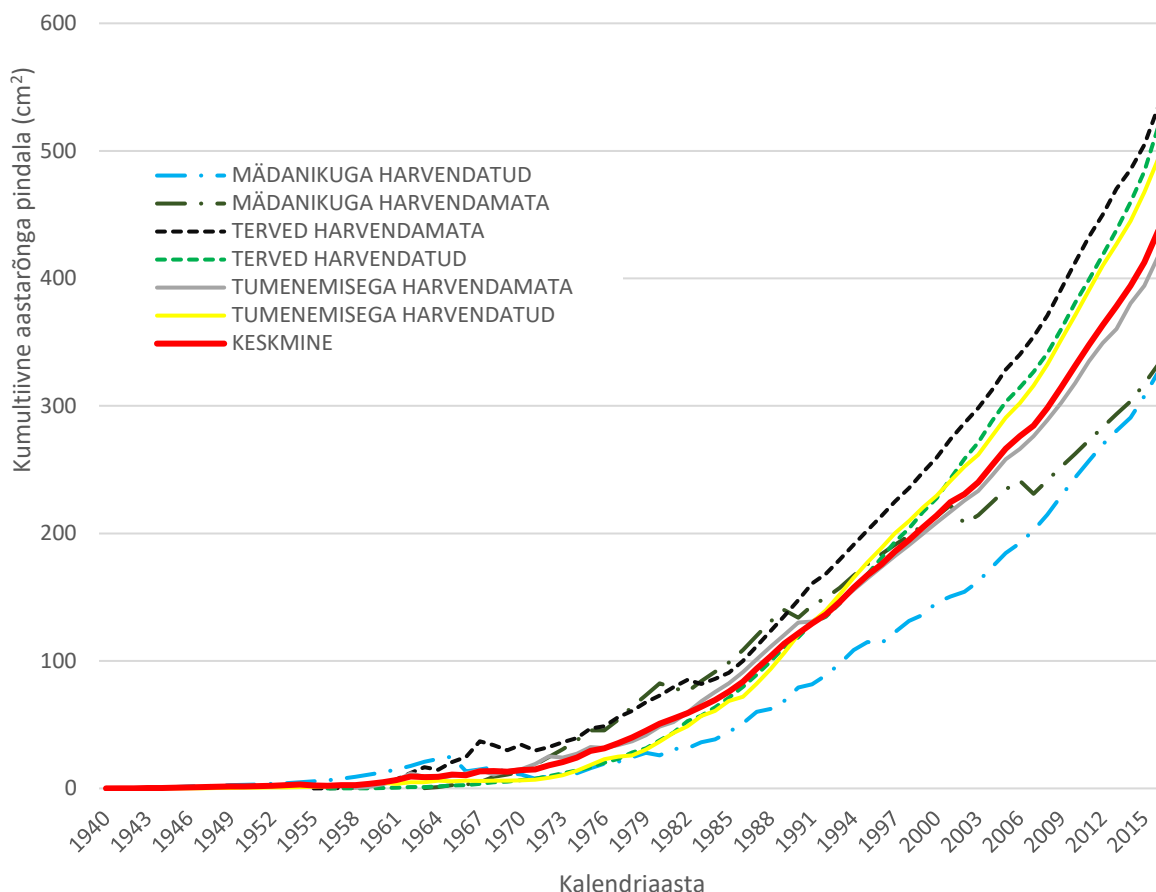


harvendamata grupi puudel toimunud juurdekasvus järsk tõus, mis võib olla tingitud hooldusraietest, sest teistel gruppidel sellist järsku tõusu märgata ei ole. Eelnevalt mainitud gruppide keskmised tulemused on esitatud joonisel 6.



**Joonis 6.** Keskmine aastarõnga pindala juurdekasv ( $\text{cm}^2$ ) kalendriaastate järgi harvendatud ja harvendamata kuusikutes.

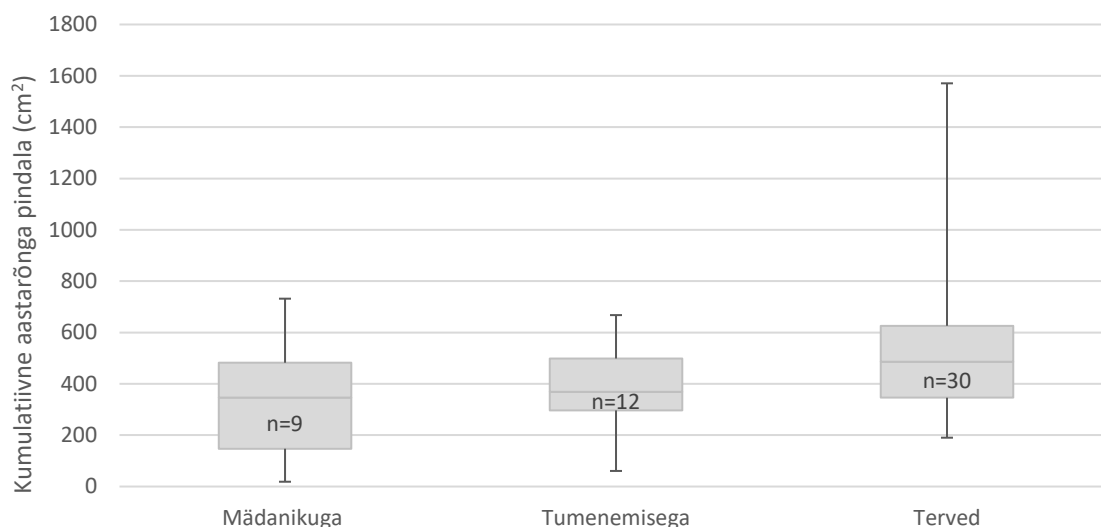
Joonisel 7 on arvatud kumulatiivne aastarõnga pindala juurdekasv, mis näitab kui palju on aja jooksul kokku aastarõnga pindala kasvanud, mis on kõige suurem tervetel harvendamata puude grupis, kus uuritava perioodi vahemik on 1955-2016 ning selle aja jooksul on kokku kasvanud aastarõnga pind  $534,4 \text{ cm}^2$  (oluliselt eelkõige aastatel 1964-1967 toimunud juurdekasvu tõttu). Mädanikuga puudel harvendatud puistus, kus uuritava perioodi vahemik on kõige suurem, 1940-2016, on kokku kasvanud kõige väiksem aastarõnga pind,  $326,5 \text{ cm}^2$ , mis on statistiliselt erinev võrreldes kõige rohkem puitu akumulunud grupiga, terved harvendamata ( $p < 0,01$ ). Samas on ka mädanikuga puude juurdekasv harvendamata puistus langenud järsult alates aastast 2000 (joonis 7).



**Joonis 7.** Keskmine kumulatiivne aastarõnga pindala ( $\text{cm}^2$ ) kalendriaastate järgi harvendatud ja harvendamata kuusikutes.

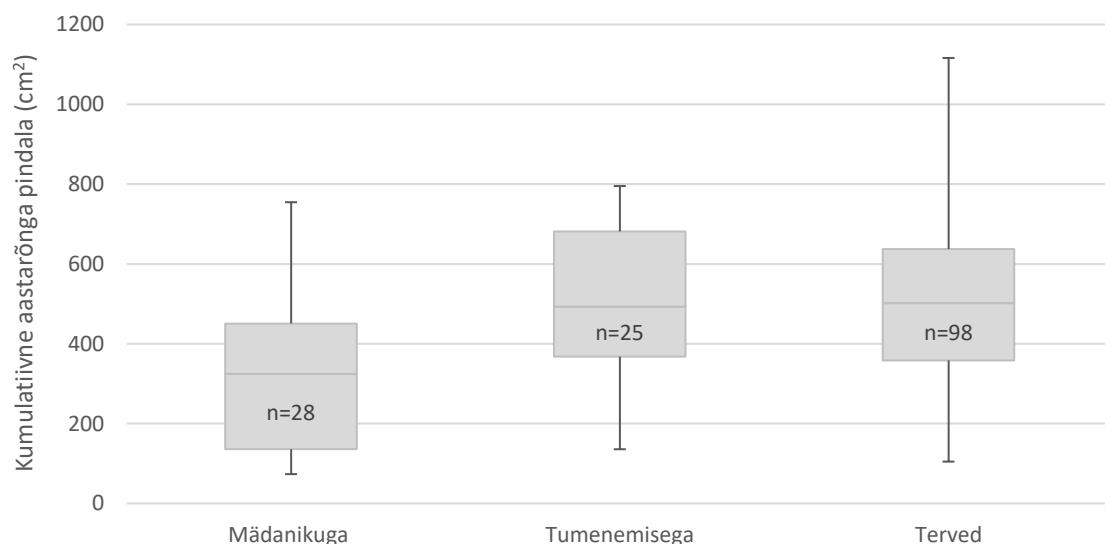
Seejärel jagati kuus gruppi vastavalt raiete järgi kaheks, harvendamata ja harvendatud ning mõlemas grupis analüüsiti erinevalt mädanikuga, tumenemisega ja terved proovid. Saadud gruppide sees võrreldi, kas kumulatiivsete aastarõnga pindalade vahel on statistilised olulised erinevused. Erinevate variantide võrdlemisel kasutati juurdekasvuproovide 2016. aasta kumulatiivset juurdekasvu.

Dispersioonanalüüs näitab, et harvendamata puistute grupis pole mädanikuga, tumenemisega ega tervete puude juurdekasvude vahel statistilist olulist erinevust ( $p > 0,05$ ). Mädanikuga proove oli 9, tumenemisega 12 ja terveid 30. Mädanikuga puude grupi keskmine juurdekasv oli  $332,4 \text{ cm}^2$ , tumenemisega  $387,23 \text{ cm}^2$  ja tervetel puudel  $534,45 \text{ cm}^2$ . Kõige suurem aastarõngaste pindalade varieeruvus oli harvendamata tervete puude grupis (joonis 8), kus maksimum oli  $1570,73 \text{ cm}^2$  ja miinimum  $190,31 \text{ cm}^2$ . Kõige väiksem aastarõngaste pindalade varieeruvus oli tumenemis tunnustega puude grupis, kus maksimum oli  $667,82 \text{ cm}^2$  ja miinimum  $60,76 \text{ cm}^2$ .



**Joonis 8.** Kumulatiivsed aastarõngaste pindalad harvendamata puistute grupis 2016 a. seisuga vastavalt kahjustuse astmele; n-proovialade arv.

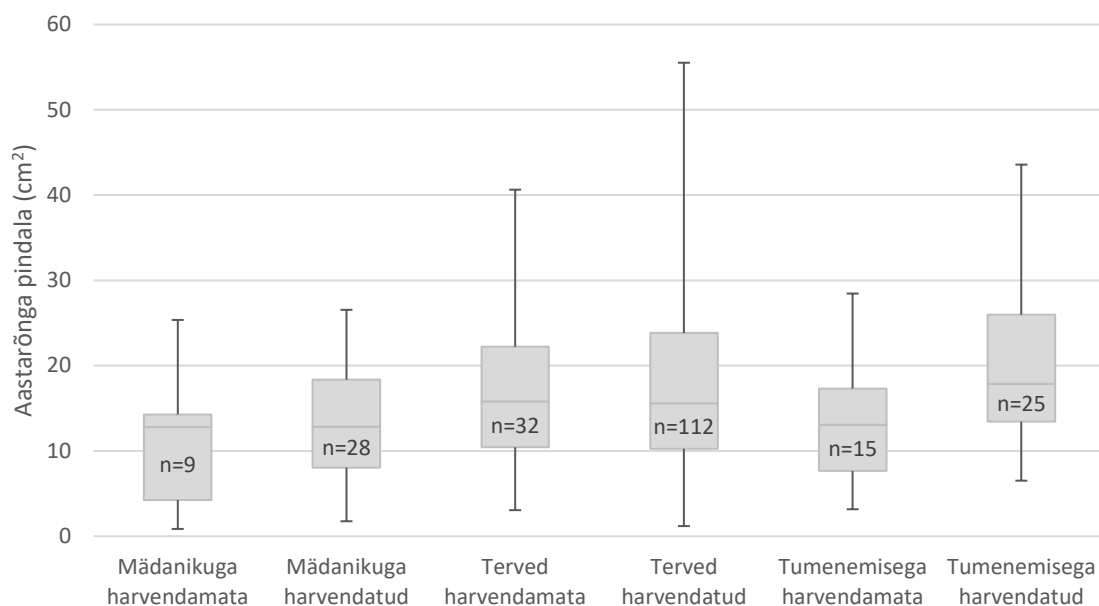
Harvendatud puistute grupis näitab analüüs, et gruppide (terved, tumenemisega ja mädanikuga) vahel on statistiline oluline erinevus. Selgus, et harvendatud puistute grupis on aastarõngaste pindalad statistiliselt olulised erinevad mädanikuga ja tumenenud puude vahel ( $p < 0,05$ ) ning mädanikuga ja tervete puude vahel ( $p < 0,001$ ) ehk mädanikuga puude kasv võrreldes teiste gruppidega oli oluliselt väiksem. Tumenenud ja tervete puude juurdekasvus statistiliselt olulist erinevust pole ( $p > 0,05$ ). Mädanikuga proove oli 28, tumenemisega 25 ja terveid 98. Mädanikuga grupi keskmine aastarõnga pindala oli  $326,5 \text{ cm}^2$ , tumenemisega grupil  $493,61 \text{ cm}^2$  ja tervetel puudel  $518,77 \text{ cm}^2$ . Kõige suurem aastarõnga pindalade varieeruvus on grupil terved (joonis 9), kus maksimum on  $1116,15 \text{ cm}^2$  ja miinimum  $104,87 \text{ cm}^2$ . Kõige väiksem aastarõngaste pindalade varieeruvus oli tumenemisega puude grupis, kus maksimum oli  $795,26 \text{ cm}^2$  ja miinimum  $135,9 \text{ cm}^2$ .



**Joonis 9.** Kumulatiivsed aastarõngaste pindalad harvendatud puistute grupis vastavalt kahjustuse astmele; n-proovialade arv.

### 3.3. Harvendatud ja harvendamata kuusikute 10 aasta keskmine aastarõnga pindala aastane juurdekasv

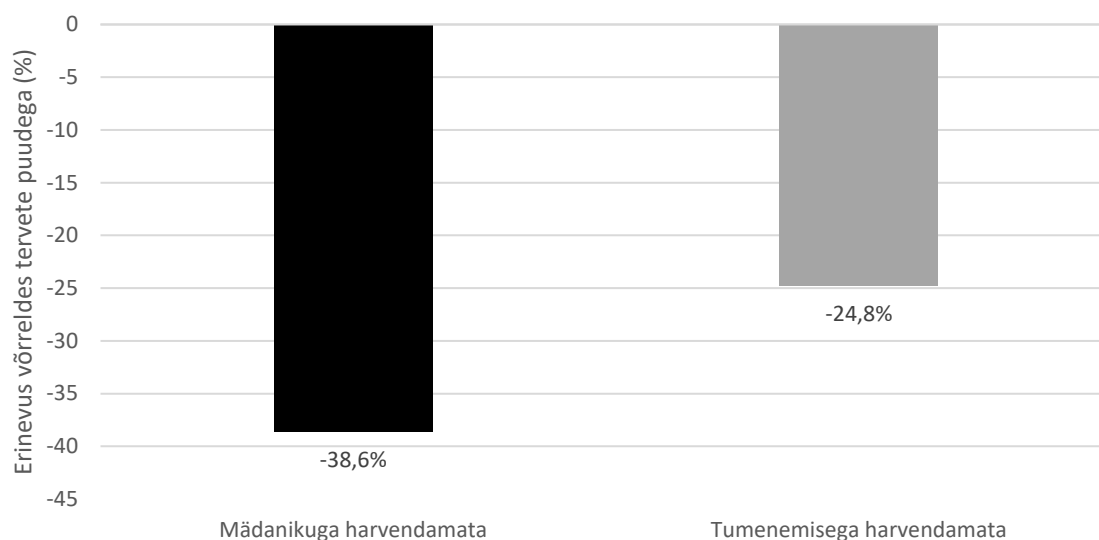
Viimase 10 aasta aastarõnga pindala analüüsi jaoks arvutati 2007-2016 kalendriaastate harvendatud ja harvendamata puistute kõikide gruppide (mädanikuga, tumenemisega ja terved) keskmised aastased juurdekasvud. Viimase 10 aasta jooksul kasvas keskmiselt kalendriaasta jooksul aastarõnga pindala kõige rohkem tumenemisega harvendatud puude grupis, keskmiselt  $19,2 \text{ cm}^2$  aastas. Kõige vähem kasvas aastarõnga pindala juurde mädanikuga harvendamata puude grupis, keskmiselt  $10,9 \text{ cm}^2$  aastas. Harvendatud puistu mädanikuga puude keskmine aastane juurdekasv oli  $13,4 \text{ cm}^2$ , harvendamata puistu tervetel puudel  $17,9 \text{ cm}^2$ , harvendatud puistu tervetel puudel  $18,9 \text{ cm}^2$  ja harvendamata puistu tumenemise tunnustega puudel  $13,4 \text{ cm}^2$  (joonis 10).



**Joonis 10.** Harvendatud ja harvendamata kuuse puistutes tervete ja kahjustatud puude keskmised aastarõngaste pindalad 10 aastase perioodi ning aastate 2007-2016 kohta.

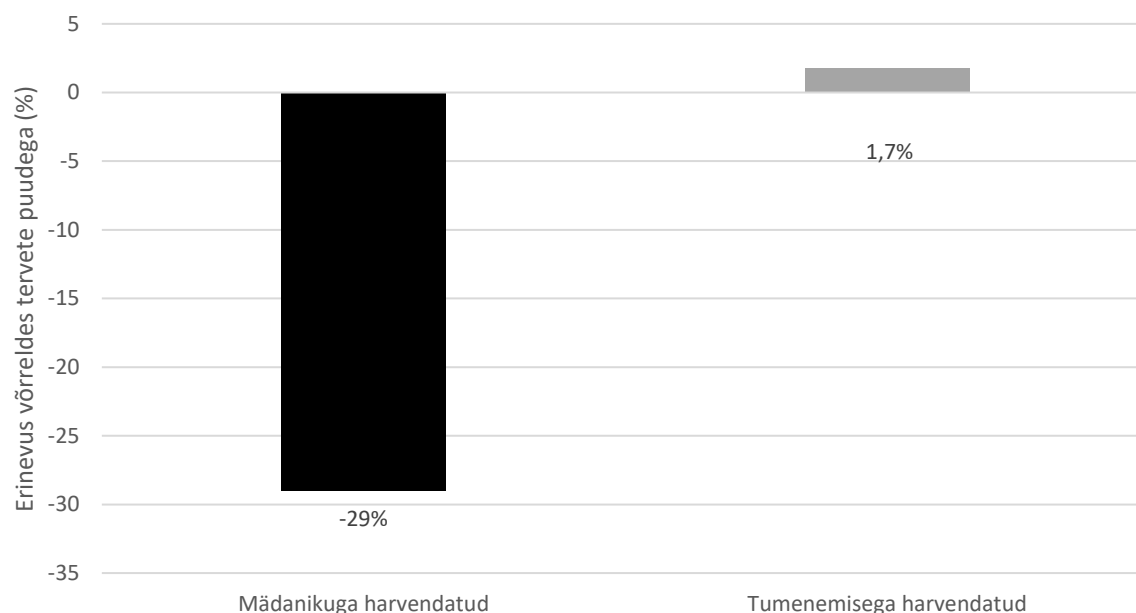
Analüüsid puistute gruppide keskmisi tulemusi omavahel selgus, et statistiliselt olulised erinevused on harvendamata puistus mädanikuga ja harvendatud puistus tumenemisega puudel, harvendatud puistus mädanikuga ja harvendatud tervetel puudel ning harvendatud puistus mädanikuga ja harvendatud tumenemisega puude vahel ( $p < 0,05$ ). Ülejäänud puude gruppide omavahelisel võrdlemisel statistiliselt olulised erinevused puudusid ( $p > 0,05$ ).

Harvendamata puistute tervete puude keskmised aastarõngaste pindalade erinevused (%) on analüüsitud 10 aastase perioodi kohta aastatel 2007-2016 (joonis 11). See näitab seda kui palju keskmiselt vähem võrreldes tervete puudega kasvas juurde harvendatud puistus tumenenud ja selgete mädaniku tunnustega puud, vastavalt -25 ja -39%.



**Joonis 11.** Harvendamata puistute 10 aastase perioodi kohta aastatel 2007-2016 keskmine aastarõnga pindala muutus mädanikuga ja kahjustuse tunnustega (tumenenud) puudel võrreldes tervete puudega (%).

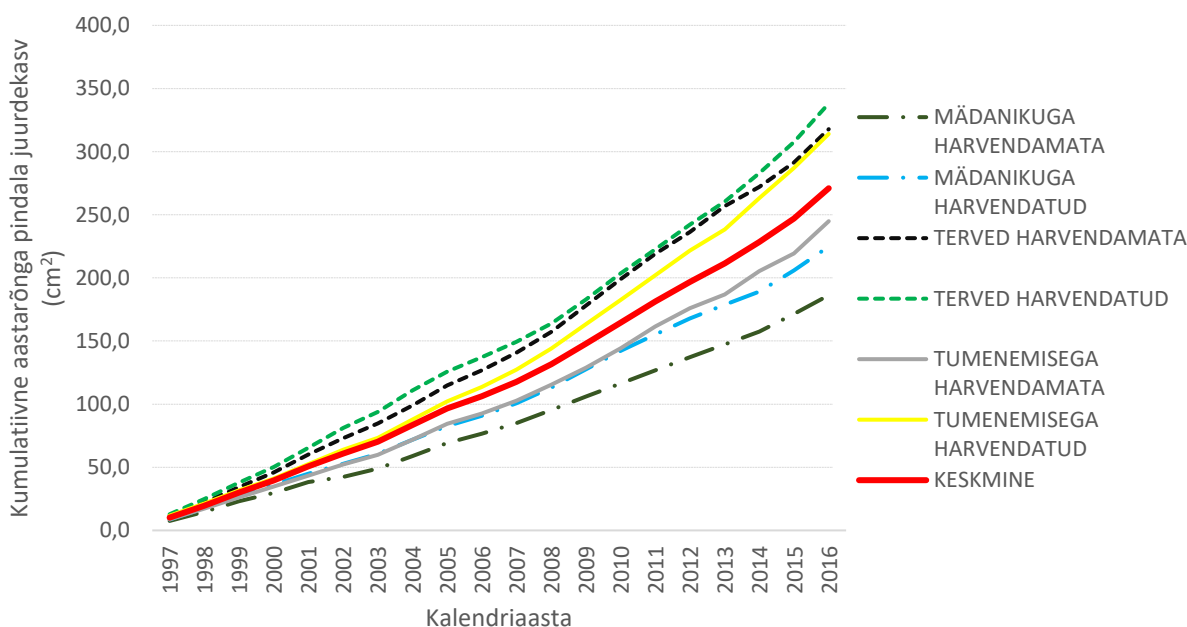
Harvendatud puistute tervete puude keskmiste aastarõngaste pindalade muutus võrreldes tumenenud ja mädanikuga puudel 10 kasvuaasta kohta perioodil 2007-2016 (joonis 12) näitab, et tumenenud tunnustega puud on 1,7% enam kasvanud võrreldes tervetega ning mädanikuga puud on kasvanud 29% vähem.



**Joonis 12.** Harvendatud puistute 10 aastase perioodi kohta aastatel 2007-2016 keskmineaastarõnga pindala muutus mädanikuga ja kahjustuse tunnustega (tumenenud) puudel võrreldes tervete puudega (%).

### 3.4. Ühtlustatud 20 aastane periood kumulatiivsete juurdekasvude võrdlemiseks

Täpsemaks (et hinnata pikema aja mõju puudele) tulemuste võrdlemiseks ühtlustati kumulatiivsed aastarõnga pindalad perioodile 20 aastat ning kalendriaastate järgi perioodil 1997-2016. Juurdekasve võrreldi harvendatud ja harvendamata puistutes: mädanikuga, tumenemisega ja tervetel puudel. Kõige rohkem kasvas radiaalsuunas puitu 20 aasta jooksul tervetel puudel harvendatud puistutes  $338,1 \text{ cm}^2$  ja kõige vähem mädanikuga puudel harvendatud puistus  $186,3 \text{ cm}^2$ . Kokku on 20 aasta jooksul harvendamata alade aastarõnga pindala kasvanud  $249,7 \text{ cm}^2$  ja harvendatud aladel  $292,3 \text{ cm}^2$ . Üleüldiselt on keskmiselt puitu juurde kasvanud  $271 \text{ cm}^2$  (joonis 13).

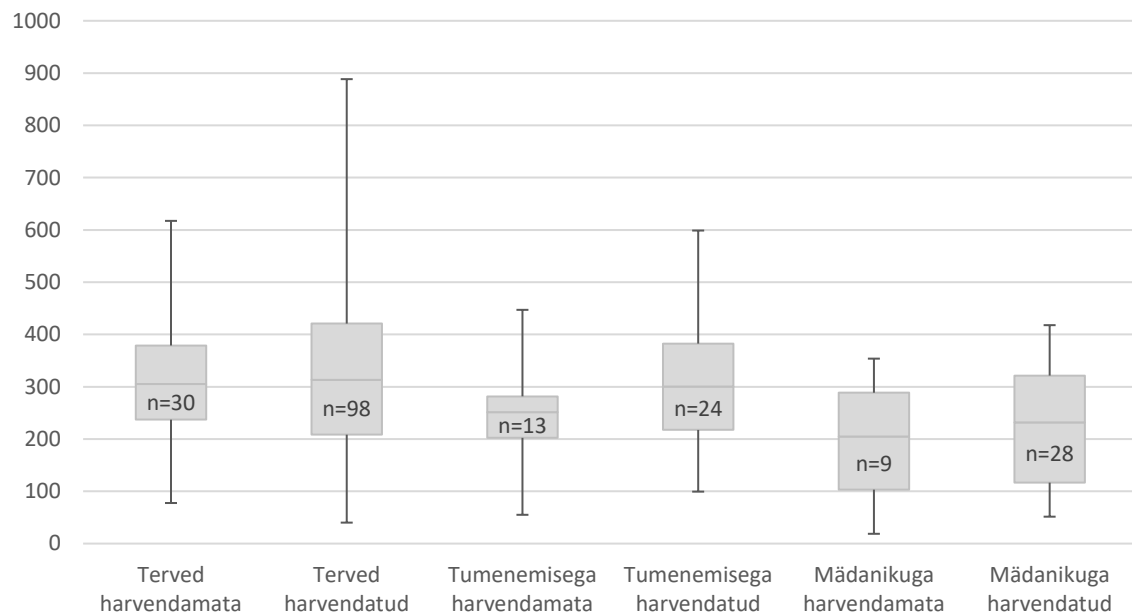


**Joonis 13.** Harvendatud ja harvendamata puistutes tervete ja kahjustatud puude 20 aasta kumulatiivsed aastarõngaste pindalad ( $\text{cm}^2$ ) kalendriaastate järgi.

Analüüside käigus kasutati tervete ja kahjustatud puude gruppide siseselt kõikide proovide 2016. aasta kumulatiivset aastarõnga pindala. Harvendamata puistute võrdlemisel leiti, et statistiliselt olulised erinevused on mädanikuga ja tervete puude juurdekasvus ( $p < 0,05$ ). Ülejäänud harvendamata puistu gruppide võrdluses statistiliselt olulised erinevused puudusid ( $p > 0,05$ ).

Harvendatud puistute võrdlemisel leiti, et statistiliselt olulised erinevused on mädanikuga ja tervete puude ( $p < 0,05$ ) ning mädanikuga ja tumenemisega puude juurdekasvus ( $p < 0,001$ ). Tumenemisega ja tervete puude vahel erinevused puudusid ( $p > 0,05$ ). Harvendamata ja

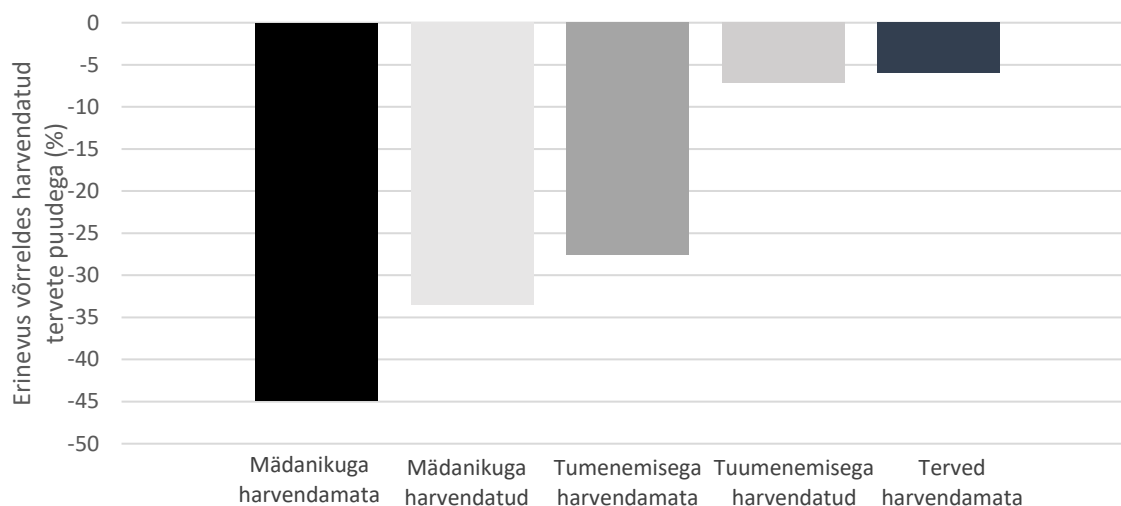
harvendatud puistute võrdlemisel leiti, et statistiliselt olulised erinevused on mädanikuga puudel harvendamata ja tervetel puudel harvendatud puistutes ( $p < 0,05$ ), mädanikuga puudel harvendamata ja tumenemisega puudel harvendatud puistutes ( $p < 0,05$ ) ning mädanikuga puudel harvendatud ja tervetel puudel harvendamata puistute juurdekasvus ( $p < 0,05$ ). Ülejäänud gruppide võrdluses statistiliselt olulised erinevused puudusid ( $p > 0,05$ ) (joonis 14).



**Joonis 14.** Harvendatud ja harvendamata puistutes tervete ja kahjustatud puude 20 aasta kohta arvutatud 2016. aasta seisuga kumulatiivsed aastarõngapindalad (cm<sup>2</sup>).

Joonisel 15 on välja toodud võrdlus viimase 20 aasta kohta enim juurde kasvanud tervete puude harvendatud puistute järgi, kus arvutus baseerub 2016. aasta kumulatiivsetes aastarõngapindalades.

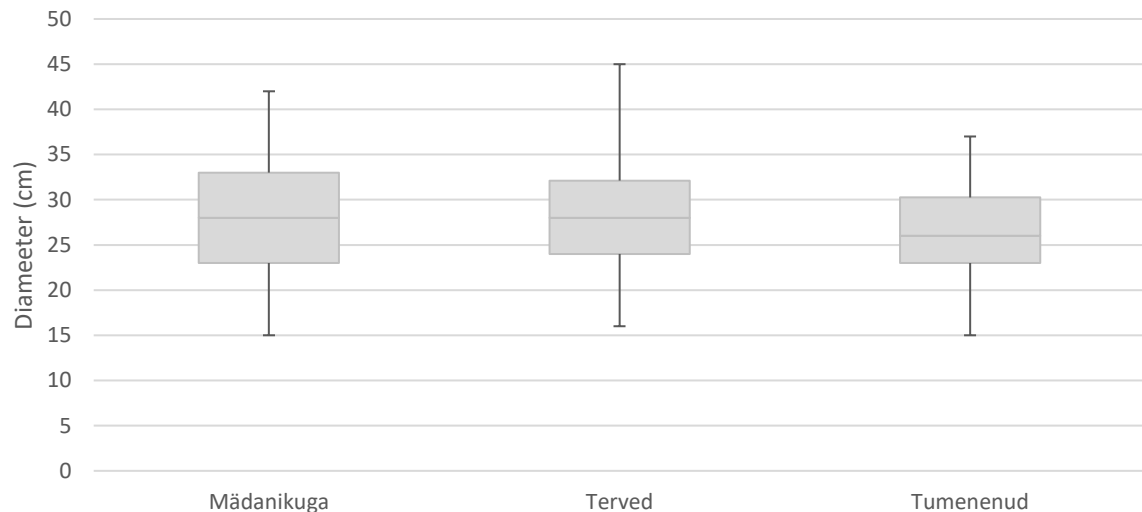




**Joonis 15.** Harvendatud puistu tervete puude (enim puitu juurde kasvanud puude grupp) juurdekasvu võrdlus (%) teiste võrdlusvariantidega, aluseks on 2016. aasta seis kumulatiivsed aastarõngaste pindalad.

### 3.5. Kahjustuse sõltuvus puu diameetrist

Antud analüüsis kontrolliti, kas mädanikuga puude diameeter on väiksem võrreldes tervete ja tumenenud tunnustega puudel. Kõik puud jagati 3 rühma, mädanikuga, terved ja tumenemisega. Mädanikuga puid oli 40 tk, terveid 160 tk ja tumenemisega 40 tk. Dispersioonanalüüsi tulemusel selgus, et puude diameetrid, olenemata kahjustuse astmest, pole üksteisest statistiliselt oluliselt erinevad ( $p=0,33$ ). Mädanikuga puude keskmine diameeter oli 28,3 cm, tervetel puudel 28,1 cm ja tumenemistunnustega puudel 26,6 cm (joonis 16).

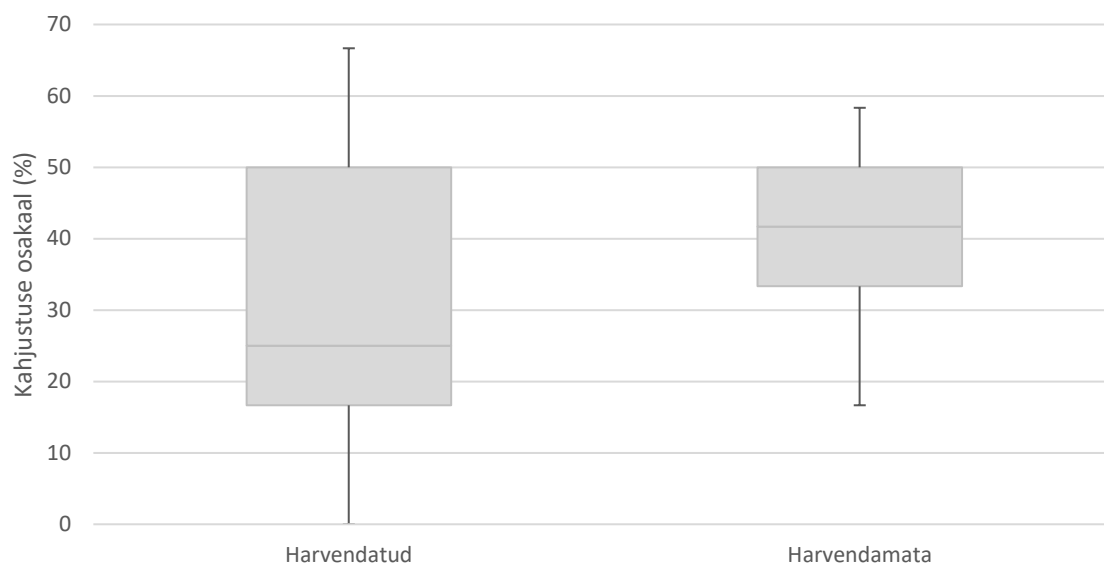


**Joonis 16.** Puude diameetrite jagunemine vastavalt tervetel ja kahjustatud puudel harvendatud ja harvendamata kuusikutes vanuses 41-60 aastat.

Tulemused näitavad, et puu diameetri järgi ei ole võimalik eristada haigeid (mädanikuga) puid tervetest ehk juuremädaniku tekitajad kahjustavad kuuski olenemata nende kasvust.

### 3.6. Harvendamise ja kahjustuste vaheline seos

Järgnevalt analüüsiti, kas harvendamine mõjutab kahjustuse osakaalu kuuse enamuse puistus vanuses 41-60 aastat. Analüüsis võrreldi omavahel harvendamata ja harvendatud puistuid. Harvendamata alasid oli kokku 5 ja harvendatud alasid 15 ja nende keskmine kahjustuse osakaal (mädanikuga ja tumenemisega proovid kokku) vastavalt 40% ja 31,1%. Kuigi jooniselt 17 järeldub, et harvendatud alade kahjustuse varieeruvus on tunduvalt suurem, siis analüüsi tulemusena kahe ala vahel statistilist olulist erinevust ei ole ( $p=0,45$ ).



**Joonis 17.** Kahjustuste osakaal vastavalt harvendatud ja harvendamata kuuse enamusega puistutes puude vanuses 41-60 aastat.

### 3.7. Harvendamise mõju puudele

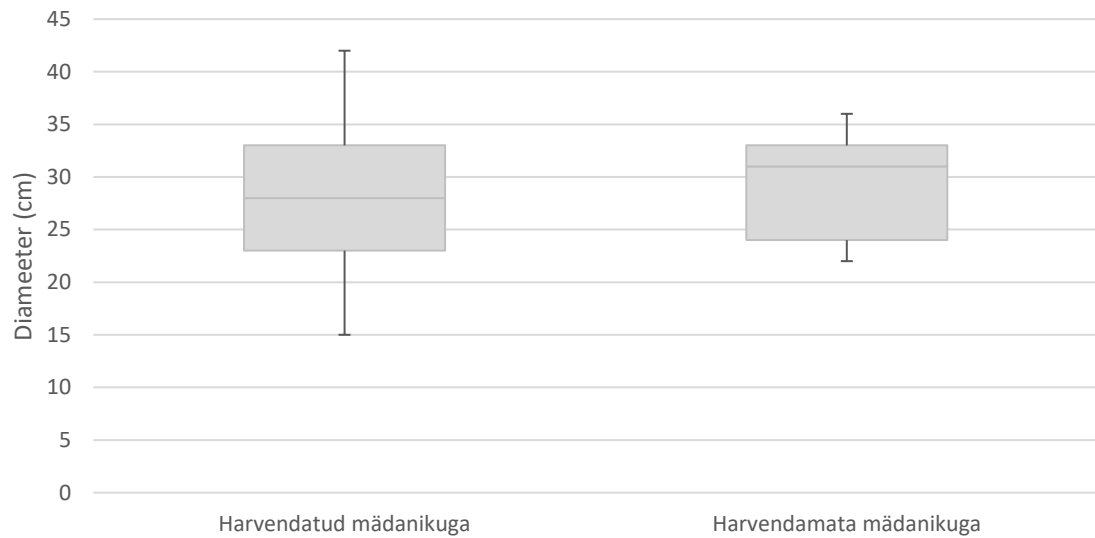
Antud analüüsi puhul testiti, kuidas harvendamine mõjutab puude diameetreid. Selleks analüüsiti puid harvendatud ja harvendamata puistutes eraldi ning need omakorda analüüsiti järgnevalt gruppide kaupa: mädanikuga, tumenemisega ja terved. Analüüsiks kasutati välitöödel mõõdetud diameetreid. Tabelis 3 on välja toodud analüüsitud puude arv ja gruppide kaupa keskmised diameetrid.

**Tabel 3.** Puude diameetrite keskmine vastavalt kahjustuse grupile ning majandamisviisile.

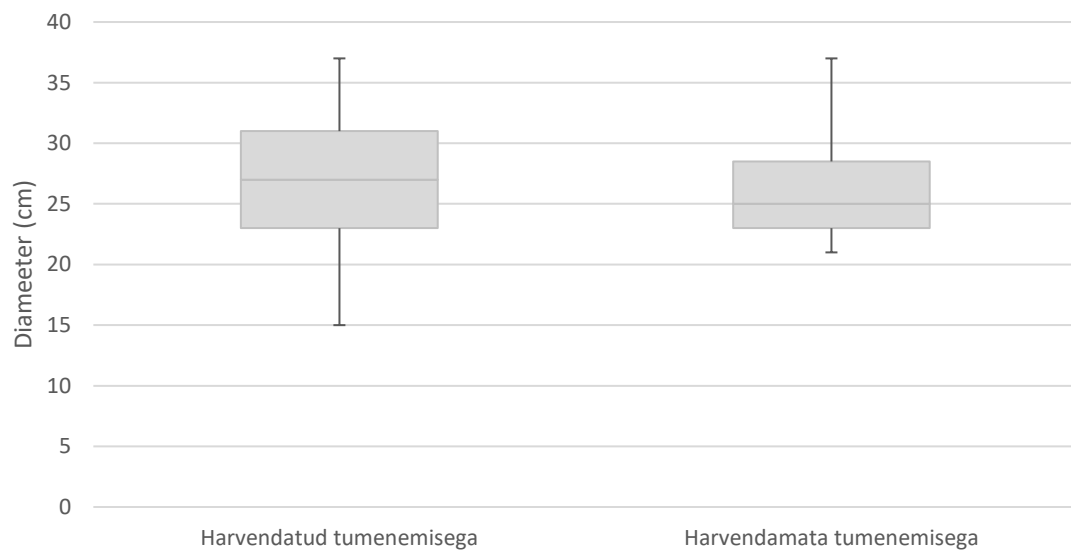
| Harvendatud  |                |                         | Harvendamata   |                         |
|--------------|----------------|-------------------------|----------------|-------------------------|
| Grupp        | Puude arv (tk) | Keskmine diameeter (cm) | Puude arv (tk) | Keskmine diameeter (cm) |
| Mädanikuga   | 31             | 28,03                   | 9              | 29,22                   |
| Tumenemisega | 25             | 26,44                   | 15             | 26,80                   |
| Terved       | 124            | 28,57                   | 36             | 26,50                   |

Analüüsi tulemusena selgus, et puude diameetreid vastavalt majandamisviisi ja kahjustuse astme järgi pole statistiliselt oluliselt erinevad ( $p>0,05$ ) ehk antud alade põhjal ja vanusevahemikus 41–60 aastat ei ole hinnatavatel puudel olnud harvendamisel ega

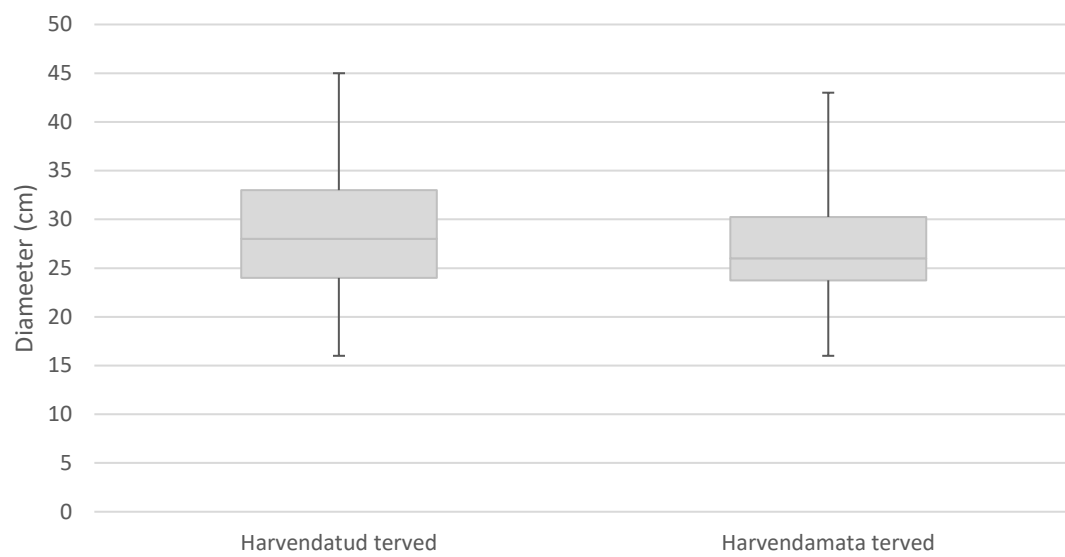
harvendamata jätmisel diameetrile olulist mõju. Joonisel 18, 19 ja 20 on välja toodud puude diameetrite võrdlus harvendatud ja harvendamata puistutes vastavalt kahjustatud ja tervetel puudel. Erinevust pole näha ühelgi juhul.



**Joonis 18.** Harvendatud ja harvendamata puistutes mädanikuga puude diameetrite võrdlus ( $p=0,66$ ).



**Joonis 19.** Harvendatud ja harvendamata puistutes tumenemisega puude diameetrite võrdlus ( $p=0,84$ ).



**Joonis 20.** Harvendatud ja harvendamata puitutes tervete puude diameetrite võrdlus ( $p=0,07$ ).

## 4. ARUTELU

Käesolevas bakalaureusetöös analüüsiti juuremädaniku mõju hariliku kuuse radiaalkasvule ja kuidas mõjutab harvendamine puude juurdekasvu puude vanuses 41-60 aastat. Analüüsides puude kumulatiivseid radiaaljuurdekasvu seeriaid selgus, et harvendatud puistute gruppis kasvavad mädanikuga puud võrreldes teiste gruppidega oluliselt vähem. Tumenenud ja tervete puude juurdekasvus statistiliselt olulist erinevust pole, kuna tumenemise puhul on puu äsja nakatunud ja see ei kajastu koheselt radiaalkasvus. Harvendamata puude kumulatiivsetes juurdekasvuseeriates erinevused puudusid. Analüüsides mõõdetud puude diameetreid selgus, et puu diameetri järgi ei ole võimalik eristada haigeid (mädanikuga) puud tervetest, samuti ei avalda harvendamine ega harvendamata jätmine antud töös hinnatavate puude diameetrile olulist mõju. Hinnatavad puud on valitud juhuslikult.

Töös analüüsiti harvendatud ja harvendamata puistutest kogutud proove, mis kategoriseeriti mädanikuga, tumenemisega ja terveteks puudeks. Igalt proovialalt võeti juhuslikult 12 puult juurdekasvuproovid ja kokku võeti 240 proovi, analüüsiti 222 proovi. Analüüsides perioodil 1997-2016 aastarõnga pindala juurdekasvusi, uuriti kui palju 10 ja 20 aasta jooksul terved ja kahjutusega puud juurde kasvasid. Viimast kümmet ja kahtkümmet aastat kasutati analüüsides seetõttu, kuna antud töös pole teada millal puu mädanikku nakatus. Kuna kahjustuse efekt ei kajastu koheselt puude juurdekasvus ja see suureneb ajaga ning viib lõpuks suurte majanduslike kahjudeni (Hellegren, Stenlid 1995). Analüüsides harvendatud alade viimase kümne aasta juurdekasvu selgus, et statistiliselt on erinevad järgnevad variandid: harvendatud mädanikuga ja harvendatud terved puud ( $p < 0,05$ ) ning harvendatud mädanikuga ja harvendatud tumenemisega puud ( $p < 0,05$ ). Teisisõnu, harvendatud kuusikutes mädaniku nakkusega puud kasvasid oluliselt vähem juurde radiaalsuunas võrreldes tervete või äsja nakatunud (tumenenud) puudega. Sarnaste tulemusteni jõuti ka siis, kui kasutati analüüsis kogu juurdekasvuproovide pikkust ja ka siis, kui kasutati juurdekasvuseeriade pikkusena viimast viiete aastat. Hellegren ja Stenlid (1995) on oma töös analüüsinud viimase viiete aasta juurdekasvu tulemusi ning leidsid, et mädanikuga proovid võrreldes tervetega on nende töös statistiliselt oluliselt erinevad ( $p < 0,01$ ), kuigi nemad pole oma töös jaganud katsealasid raie ega vanuse järgi. Oliva *et al.* (2010) on oma töös samuti

uurinud viimase viie aasta keskmisi aastaseid juurdekasve ja on leidnud, et tervete ja kahjustatud puude vahel on statistiliselt olulised erinevused ( $p < 0,01$ ) ehk nakkusega puud kasvavad vähem. Gruduls *et al.* (2012) on oma töös uurinud viimase 10 aasta proovide aastarõnga pindalade erinevusi ja nemad leidsid, et mädanikuga ja tervete puude vahel pole statistilist olulist erinevust ning jõudsid järeldusele, et *Heterobasidion* spp. nakkus puude juurdekasvu ei mõjuta. See võib sõltuda paljudest asjaoludest, nt hinnatava puu vanusest, patogeeni agressiivsusest ning sellestki, mis ajal patogeen puud nakatas. Minu uuritud katsealadel on juurepess esindatud ja määratud (R. Drenkhani andmed). Protsentuaalselt on Hellegren ja Stenlid (1995) toonud välja, et viimase viie aasta jooksul on aastarõngaste pindala erinevus tervete ja mädanikuga puude vahel 9,6%. Oliva *et al.* (2010) on oma töös välja toonud sarnase tulemuse, et terved puud kasvasid enam 9,2%. Käesolevas uurimustöös on harvendatud puistutes tervete ja mädanikuga puude radiaalkasvu vaheline erinevus 29% ja tervete ning tumenenud proovide vaheline radiaalkasvu erinevus vaid 1,7%. Need kaks viimast juurdekasvu hinnangut iseloomustavatki seda, et algstaadiumis nakkus (proovide tumenemine) ei mõjuta veel oluliselt juurdekasvu, vaid muutus juurdekasvus toimub teatud nihkega. Seda aspekti tuleb arvestada juuremädanikest tingitud juurdekasvude hinnangute tegemisel. Kuna antud töös olid proovialad valitud viljakates kasvukohatüüpides, kus juuremädanike levik on suurim (Drenkhan *et al.* 2017), siis nii suur protsentuaalne erinevus kahe eelmainitud töö vahel võibki tuleneda sellest, et nende töödes kasvukohatüüpide varieeruvus oli ilmselt suurem. Lisaks on oluline ka see, et Rootsi uuringute juurdekasvude erinevused on tagasihoidlikumad võrreldes käesolevaga, sest erinevas vanuses puud kasvavad erineva kiirusega. Kahjustusest tingitud erinevuse puhul on kindlasti oluline ka proovide arv, mis Hellegren ja Stenlid (1995) töös oli 14577 tervet ja 1121 mädanikuga nakatunud proovi ning käesolevas töös oli proove 240 millest mõõdeti 222. Käesolevas töös harvendamata aladel mädanikuga, tumenemisega ja tervete puude vahel aastarõngaste pindalade juurdekasvudes olulised erinevused puudusid.

Töös võrreldi omavahel kuidas mõjutab harvendamine kahjustuste osakaalu. Viie harvendamata ala keskmine kahjustuse osakaal oli 40% ja 15 harvendatud ala kahjustuse osakaal oli 31,1%. Piri ja Korhonen (2008) on oma töös märkinud, et puistu harvendamine põhjustab rohkem juuremädaniku levikut. Siis käesolevas töös võis tingida harvendatud puistute madalama kahjustuse osakaalu esiteks, ebavõrdne alade arv ja teiseks, aastatel 1964-1967 on tervete harvendamata grupi keskmise aastarõnga pindala juurdekasvus toimunud järsk tõus. See võib viidata siiski sellele, et andmebaasi järgi harvendamata alad on antud

perioodi eelselt siiski harvendatud. Harvendatud alade madalam kahjustuse osakaal võib tulla ka sellest, et harvenduse käigus on haiged ja kahjustatud puud välja raiutud. Metslaid *et al.* (2018) ning Piri ja Korhonen (2008) on oma töödes märkinud, et harvendatud aladel on kahjustatud puude osakaal pisut suurem kui harvendamata aladel, kuid statistiliselt mitteoluliselt. Sarnaselt ka käesolevas töös ( $p>0.05$ ) pole kahe majandamisviisi vahel (harvendamine ja mitte harvendamine) kahjustatud puude arvus statistilist olulist erinevust leitud.

Analüüside käigus selgus, et puude diameetrid, olenemata kahjustusest, pole üksteisest statistiliselt oluliselt erinevad ( $p=0,33$ ), samasuguse tulemuseni ( $p=0,22$ ) on jõudnud ka Allikmäe *et al.* (2017), kes kasutas analüüsis kokku 142 proovi. Gruduls *et al.* (2012) kasutas analüüsis 32 mädanikuga proovi ja 28 tervet proovi, sai sarnase tulemuse käesoleva tööga ( $p=0.67$ ). Puude diameetrid pole erinevad ilmselt seetõttu, kuna me ei tea millal puu patogeeniga nakatusning patogeen pole veel jõudnud puu juurdekasvu negatiivselt mõjutada.

Analüüsidest juurdekasvuseeriade aastarõngapindala selgus, et aastatel 1992, 2006 ja 2013 on toimunud järsk juurdekasvu langus. Juurdekasvu langus on tingitud põuastest suvedest. Aastad 1992, 2006 ja 2013 olid põuased suved, 2006 Eesti keskmine suve sademete hulk oli 108mm (52% suve keskmisest normist) ja 2013 aasta suve keskmine oli 151mm (73% suve keskmisest normist) (Eesti meteoroloogia... 2014). Aasta 1992 Eesti suve keskmine sademete summa oli 118 mm (57% suve keskmisest normist; Kallis 2009). Kohler *et al.* (2010) on oma töös jõudnud järelduseni, et kuusk on põuatundlik liik ning leidsid, et uuritud aastatel 1992 ja 2003 kaotati kuuse juurdekasvus oluliselt. Lähtudes sellest tõsiasiast tuleb arvestada juurdekasvude ja patogeenide mõju hinnangus ka ilmastiku ekstsessidega, sest stressis puud on patogeenidele vastuvõtlikud (Hanso, Drenkhan 2013).



## KOKKUVÕTE

Bakalaureusetöö peamiseks eesmärgiks oli välja selgitada kuidas mõjutab juurepess kuuskede radiaalset juurdekasvu harvendatud ja harvendamata viljakates puistutes vanuses 41-60 aastat. Kitsamateks ülesanneteks oli leida, (1) kas hooldusraied mõjutavad kahjustuse osakaalu, (2) kas kahjustusega puude radiaalne juurdekasv on erinev võrreldes tervete puude juurdekasvuga ja, (3) kui palju erineb hariliku kuuse diameeter tervel puul võrrelduna haigega.

Proovid koguti, 2017. aastal, kahekümnealt proovialalt (15 harvendatud ala, 5 harvendamata ala) Tartumaal, Jõgevamaal, Võrumaal, Valgamaal ja Põlvamaal. Igalt alalt võeti 12 juurdekasvuproovi, kokku 240 proovi. Võetud juurdekasvuproove mõõdeti Eesti Maaülikooli puiduteaduste laboris ning andmeanalüüs teostati programmis *Microsoft Excel*. Töös jagati juurdekasvuproovid raiete ja kahjustuse esinemise järgi kuute gruppi järgnevalt: harvendamata puistutes: mädanikuga, tumenemisega ja terved puud ning harvendatud puistutes: mädanikuga, tumenemisega ja terved puud. Saadud gruppe analüüsiti leidmaks juurdekasvu erinevusi.

Analüüsides kasutatud alade keskmine kahjustuse osakaal oli harvendamata aladel 40% ja harvendatud aladel 31,1% ning analüüs näitas, et vaid harvendamine üksi ei mõjuta oluliselt kahjustuste osakaalu puistu vanuses 41-60 aastat. Analüüsides täispikkuses juurdekasvuseeriaid (ja ka ühtlustatud pikkusega juurdekasvuseeriaid) selgus, et harvendatud puistutes on mädanikuga puude kasv võrreldes tervete ja tumenemis tunnustega puudel oluliselt väiksem, harvendamata puistutes oluline erinevus puude juurdekasvus puudus. Mädaniku mõju juurdekasvu täpsemaks hindamiseks oleks vaja mõõta ka puude kõrgused, et arvutada välja palju kaotame kahjustusega puudel puitu võrreldes tervetega. See on juba järgmiste analüüside teema. Analüüsides mõõdetud puude diameetreid leiti, et puu diameetri järgi ei ole võimalik eristada haigeid (mädanikuga) puid tervetest, samuti pole puude diameetrid oluliselt erinevad harvendatud ja harvendamata aladel. Bakalaureusetöö tulemused näitavad, et juuremädanikud (eelkõige juurepess) mõjutavad oluliselt puude radiaalkasvu eelkõige harvendatud 41-60 aastat vanustes kuusikutes .

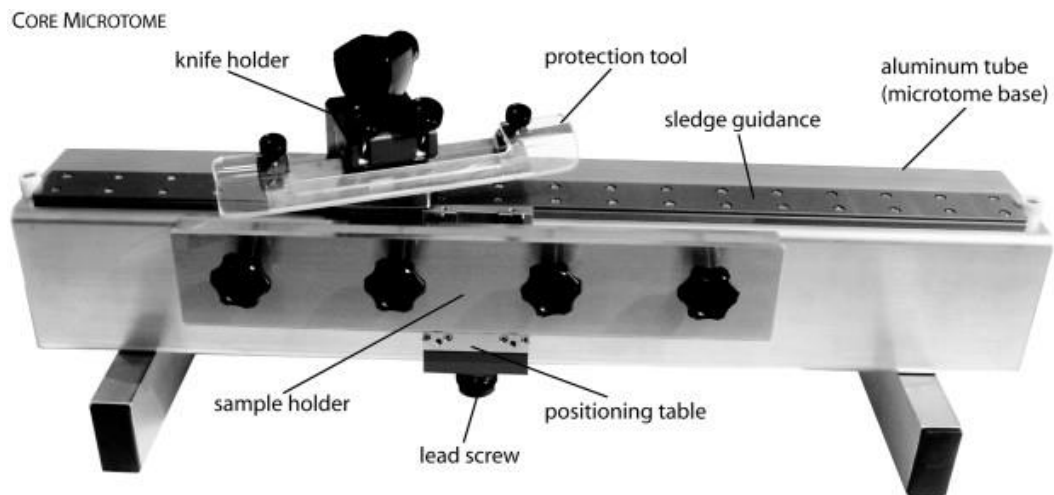
## KASUTATUD KIRJANDUS

- Aastaraamat mets 2016. (2017).** /Toim. M. Raudsaar, K.L. Siimon, M. Valgepea. Tallinn: Keskkonnaagentuur. 293 lk.
- Allikmäe, E., Laarmann, D., Korjus, H. (2017).** Vitality Assessment of Visually Healthy Trees in Estonia. – *Forests* 7. 1–8.
- Asiegbu, F.O., Adomas, A., Stenlid, J. (2005).** Conifer root and butt rot caused by *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. s.l. – *Molecular Plant Pathology* 4: 395–409.
- Biondi, F., Qeadan, F. (2008).** A Theory-Driven Approach to Tree-Ring Standardization: Defining the Biological Trend from Expected Basal Area Increment. – *Tree-Ring Research*. 81–96.
- Drenkhan, R., Tedersoo, L., Drenkhan, T. (2017).** Kuusikute raieaeg ja haiguste levik. – *Metsamees*. Nr 3 (131), lk 30–33.
- Drenkhan, T. (25. juuni 2011).** Pritsiga juurepessu vastu. – *Maaleht*.
- Eramets. Seenkahjurid. (2018) [veebileht] <http://www.eramets.ee/seenkahjurid/> (01.05.2018).
- Grissino-Mayer, H.D. (2001).** Evaluating Crossdating Accuracy: A Manual and Tutorial for the Computer Program COFECHA. – *Tree-Ring Research*. 205–221.
- Gruduls, K., Gaitnieks, T., Donis, J., Liepa, I. (2012).** *Heterobasidion* spp. In *Picea Abies* understory: Incidence and impact on radial growth of trees. – *Research for Rural Development*. 21–24.
- Gärtner, H., Nievergelt, D. (2010).** The core-microtome: A new tool for surface preparation on cores and time series analysis of varying cell parameters. – *Dendrochronologia*. 85–92.
- Hanso, M., Drenkhan, T. (2005).** Seenega seene vastu. – *Eesti Loodus*. Nr 1.
- Hanso, M., Drenkhan, R. (2013).** Simple visualization of climate change for improving the public perception in forest pathology. – *Forestry Studies*. 37–45.
- Hanso, M., Õunap, H. (2016).** Olulisemad metsakahjustused ja nende vältimine. Tartu: SA Erametsakeskus. 44 lk.
- Hanso, S., Hanso, M. (1999).** Spread of *Heterobasidion annosum* in forests of Estonia. – *Metsanduslikud uurimused*. 162–172.
- Hellegren, M.B., Stenlid, J. (1995).** Long-term reduction in the diameter growth of butt rot affected Norway spruce, *Picea abies*. – *Forest Ecology and Management*. 239–243.
- Holmes, R.L. (1983).** Computer Assisted Quality Control in Tree Ring Dating and Measurement. – *Tree-Ring Bulletin*. 69–78.

- Keskkonnaministeerium.** (06. oktoober 2017). Keskkonnaministeerium selgitab: riigimetsa tervisest hoolitakse ja juurepessuga võideldakse. – *Maaleht*.
- Kiviste, A. (1999).** Matemaatiline statistika *MS Exceli* keskkonnas. Tallinn: GT Tarkvara OÜ. 86 lk.
- Kohler, M., Sohn, J., Nägele, G., Bauhus, J. (2010).** Can drought tolerance of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) be increased through thinning? – *European Journal of Forest Research*. 1109-1118.
- Läänelaid, A. (1976).** Juhend dendrokronoloogilisteks uuringuteks. Tartu: ENSV Teaduste Akadeemia, Eesti Loodusuurijate Selts. 29 lk.
- Metsaregister. (2018). [veebileht] <http://register.metsad.ee/avalik/> (22.03.2018).
- Metslaid, M., Granhus, A., Scholten, J., Fjeld, D., Solheim, H. (2018).** Long-term effects of single-tree selection on the frequency and population structure of root and butt rot in uneven-sized Norway spruce stands. - *Forest Ecology and Management*. 509-517.
- Niemelä, T. (2008).** Torikseened Soomes ja Eestis. Tartu: Eesti Loodusfoto. 320 lk.
- Oliva, J., Thor, M., Stenlid, J. (2010).** Reaction zone and periodic increment decrease in *Picea abies* trees infected by *Heterobasidion annosum* s.l. - *Forest Ecology and Management*. 692–698.
- Piri, T., Korhonen, K. (2008).** The effect of winter thinning on the spread of *Heterobasidion parviporum* in Norway spruce stands. - *Canadian Journal of Forest Research*. 2589–2595.
- RINNTech. LINTAB 5. (2018) [veebileht] <http://www.rinntech.de/images/stories/PDF/LINTAB-5.pdf> (29.04.2018).
- Speer, J. H. (2010).** Fundamentals of Tree-Ring Research. USA: University of Arizona Press. 509 lk.
- Žemaitis, P., Stakėnas, V. (2016).** Ecological Factors Influencing Frequency of Norway Spruce Butt Rot in Mature Stands in Lithuania. - *Russian Journal of Ecology*. 355–363.

**LISAD**

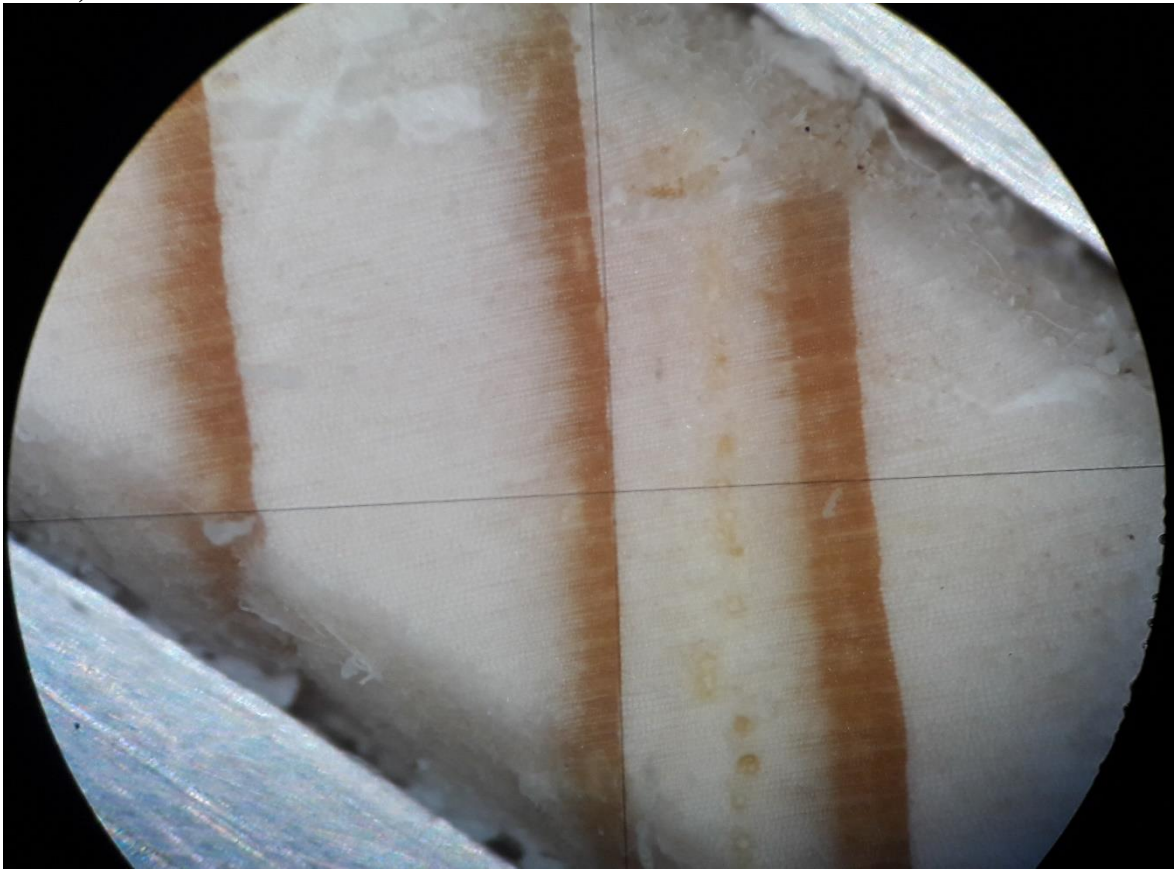
**Lisa 1a. Puursüdamiku mikrotoom (*core microtome*).**



**Lisa 1b. Puursüdamiku mikrotoom koos prooviga (Foto: Gert Klein).**



**Lisa 2. Juurdekasvuproovi aastarõngad vaadatuna läbi mikroskoobi (Foto: Gert Klein).**



### Lisa 3. LINTAB™ 5



**Lisa 4. Purunenud juurdekasvuproov (Foto: Gert Klein).**





**Lisa 5. Tumenemistunnustega juurdekasvuproov (Foto: Gert Klein).**



**Lisa 6. Mädanikuga juurdekasvuproov (Foto: Gert Klein).**



**Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks  
ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Kevin Tsopp,  
(sünnipäev 03/12/1995, 39503126521)

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö  
Radiaalne juurdekasv keskealistes juuremädaniku nakkusega kuusikutes,  
mille juhendajad on Rein Drenkhan ja Sandra Metslaid,
  - 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
  - 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
  - 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemisekskuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega  
isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor

\_\_\_\_\_

allkiri

Tartu, 24.05.2018

---

**Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Luban lõputöö kaitsmisele.

\_\_\_\_\_

(juhendaja nimi ja allkiri)

\_\_\_\_\_

(kuupäev)

\_\_\_\_\_

(juhendaja nimi ja allkiri)

\_\_\_\_\_

(kuupäev)